



PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EsIA) CATEGORÍA III

INFORME ANUAL DEL PROGRAMA DE MONITOREO DE EFECTOS AMBIENTALES: ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE

Compromisos de EsIA Aplicables	Periodo reportado	Elaborado por	Fecha de Emisión del Reporte
13226	2019	ENVIROMENTAL ENGINEERING SCIENCE INTERNATIONAL	5/07/2019



MINERA PANAMÁ

MONITOREO DE ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE EN MINERA PANAMÁ INFORME FINAL AÑO 2019



EES ENVIRONMENTAL
ENGINEERING
SCIENCE
INTERNATIONAL

OFICINA Y LABORATORIO
Ancón. Avda. Morgan Dúplex 301 A. Ciudad de Panamá. República de Panamá

5 DE JULIO 2019



PRESENTACIÓN

La empresa MINERA PANAMÁ ha encargado a la consultora ambiental independiente EES INTERNATIONAL, SA, el monitoreo de los ecosistemas de agua dulce en el año 2019.

Ciudad de Panamá, 5 de julio 2019

Dr Fernando J. Mariño Fernández
Fdo. Director Técnico

Ing. Ana M. Sánchez Martín
Fdo. Responsable de Calidad y Procedimientos

Rev. Nº	Motivo modificación	Aprobado por	Fecha Entrega
1	Edición original	Dr Fernando Mariño	05-07-2019

AMBITO DE LA INSPECCION: REGLAMENTARIO. NO SE HA OMITIDO NINGUN ASPECTO DEL AMBITO ORIGINAL DEL TRABAJO.

IDENTIFICACION DEL ITEM INSPECCIONADO: AGUAS NATURALES SUPERFICIALES.

CONDICIONES GENERALES: EL CONTENIDO DEL PRESENTE INFORME DE INSPECCION SE HA AJUSTADO A LO ESTABLECIDO EN LAS NORMA ISO/IEC 17020 Y/O ISO 9001. LOS ANALISIS LOS HAN REALIZADO LABORATORIOS ACREDITADOS POR LA NORMA INTERNACIONAL UNE/EN/ISO 17025.

LA INSPECCION Y MUESTREO SE HA REALIZADO SEGÚN ESPECIFICACIONES RECOGIDAS EN LAS INSTRUCCIONES DEL SGC DE EES INTERNATIONAL, SA, CON REGISTROS PRIMARIOS DE LAS MEDIDAS IN SITU INCLUIDOS EN EL CUADERNO DE CAMPO DEL EQUIPO.

- 1) El presente informe es copia fiel del original que mantiene EES INTERNATIONAL, SA
- 2) Los resultados obtenidos sólo afectan a las muestras ensayadas.
- 3) El presente informe no debe ser reproducido ni total ni parcialmente sin la autorización expresa de MINERA PANAMÁ.

LOS RESULTADOS DEL PRESENTE INFORME SE REFIEREN EXCLUSIVAMENTE AL PEDIDO REALIZADO.

DESIGNACION DEL DOCUMENTO: ESTUDIO SISTEMAS ACUATICOS 2019 INFORME FINAL 050719

IDENTIFICACION DE LA VERSIÓN DEL DOCUMENTO: 050719

AUTORÍA DEL DOCUMENTO: TODOS LOS TEXTOS, FOTOS, FIGURAS, GRÁFICOS, ETC INCLUIDOS EN EL PRESENTE INFORME HAN SIDO ELABORADOS POR EL EQUIPO TÉCNICO DE EES INTERNATIONAL, SA, SIENDO EL RESPONSABLE ÚLTIMO DE SU ALCANCE Y CONTENIDO EL DIRECTOR TÉCNICO DE EES INTERNATIONAL, SA. EES INTERNATIONAL, SA ESTÁ A DISPOSICIÓN DEL QUE LO SOLICITE PARA AMPLIAR O ACLARAR CUALQUIER ASPECTO RELACIONADO CON EL INFORME, ASÍ COMO LA ENTREGA DE ESTOS DOCUMENTOS EN FORMATO ORIGINAL BAJO LA AUTORIZACIÓN EXPRESA DE MINERA PANAMÁ.



ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO

1.	<u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2.	<u>OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA</u>	3
3.	<u>METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS</u>	4
3.1.	Actividades realizadas	4
3.2.	Sitios de muestreo.....	5
3.3.	Metodología de estudio de parámetros y variables físico-químicas	9
3.4.	Metodología de estudio de elementos biológicos	13
3.5.	Metodología estudio elementos hidromorfológicos y arraigo	19
4.	<u>RESULTADOS</u>	21
4.1.	Elementos físico-químicos	21
4.2.	Elementos biológicos.....	31
4.3.	Elementos hidromorfológicos y arraigo.....	55
5.	<u>ANÁLISIS DE INDICADORES AMBIENTALES</u>	58
6.	<u>ESTADO ECOLÓGICO Y DIAGNÓSTICO</u>	64
6.1.	Justificación.....	64
6.2.	Índices de calidad del agua. Metodología y resultados	64
6.3.	Valoración y diagnóstico del estado ecológico.....	73
7.	<u>RESUMEN Y CONCLUSIONES</u>	77

ANEXO 1. FICHAS DE LOS SITIOS DE MUESTREO

ANEXO 2. INFORMES DE ENSAYO DE ANÁLISIS DE AGUA, SEDIMENTOS Y BIOTA

ANEXO 3. INFORMES DE ENSAYO DE ANALISIS DE PERIFITON Y CALCULO IPS

ANEXO 4. CARACTERÍSTICAS DE LAS PRINCIPALES ESPECIES DE PECES

ANEXO 5. LISTADO FOTOGRÁFICO DE ESPECIES DE MACROINVERTEBRADOS



RESUMEN EJECUTIVO

Por encargo de MINERA PANAMÁ S.A., el objetivo principal de la presente consultoría es continuar con el Plan de Monitoreo de Ecosistemas de Agua Dulce iniciado en el año 2012, mediante un Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés) dirigido a asegurar que los controles ambientales para los afluentes, sedimentos y agua y otras medidas de mitigación sean efectivas para la protección de la viabilidad de los ecosistemas acuáticos de agua dulce alrededor de las operaciones de la mina.

De esta forma, se ha continuado con la aplicación de los índices e indicadores ambientales establecidos en el Plan de Monitoreo Ambiental del proyecto Mina de Cobre Panamá, con el fin de conocer cómo evolucionan en el tiempo desde el año 2012 (considerada la línea base) y su grado de afectación por las actividades de la mina.

Como objetivo complementario, este año 2019 se ha continuado con la valoración del “estado ecológico” de cada uno de los sitios de muestreo –iniciado en el año 2016-, teniendo en cuenta los siguientes elementos de calidad e indicadores o índices:

- Elementos de físico-químicos: parámetros de calidad de agua y metales pesados en agua, sedimentos y biota.
- Elementos de calidad biológicos: macroinvertebrados (índice IBMW/PAN), perifiton (índice IPS) y peces (índice IBI).
- Elementos hidromorfológicos: vegetación de ribera (índice QBR-PAN), hábitat fluvial (índice IHF-PAN) y arraigo (índice de arraigo IA).

Una vez calculados los indicadores de calidad físico-químicos, hidromorfológicos y biológicos, para valorar y diagnosticar el estado ecológico, se ha seguido el esquema de toma de decisiones basado en la metodología adoptada en el “Proyecto de Saneamiento de los ríos y quebradas de la Ciudad de Panamá y Del Medio marino de la Bahía de Panamá” del Ministerio de Salud y según los criterios de la Directiva Marco del Agua en Europa (DMA, 200/60/CE).

Desde el punto de vista metodológico, se han seguido protocolos estándares para el muestreo y análisis de los elementos ambientales considerados y similares a los empleados en monitoreos de años anteriores.

Para los valores de referencia o guía de los parámetros de calidad de aguas (físico-químicos) se ha empleado la siguiente normativa vigente en Panamá, así como normativa específica de referencia para niveles de metales pesados en sedimentos.

- Norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo para la categoría “sin contacto directo”. Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.
- Protocolo del Consejo Canadiense del Ministerio del Ambiente (CCME) y Ley holandesa de suelos contaminados: “Soil Clean-Up Act.1983”.
- Para el contenido de metales en peces y camarones, se han empleado diferentes valores de referencia recogidos en normativas internacionales y que ha sido elaborado por expertos de MINERA PANAMÁ.



- El diseño original de los emplazamientos de cada punto realizado en el año 2012 dependió del establecimiento de sitios de muestreo cercanos al proyecto (Punto de Muestreo Cercano, PMC), sitios de muestreo río abajo (Punto de Muestreo Lejano, PML) y sitios de muestreo de referencia (REF) que son áreas no influenciadas por el proyecto.

Para el monitoreo del año 2019 se emplearon los mismos sitios de muestreo que en años anteriores, incluyendo un punto adicional en el río Petaquilla en punto lejano (PML Petaquilla) iniciado en el año 2016. Estos sitios de muestreos se ubicaron dentro de los cauces receptores de las principales subcuencas intervenidas por el proyecto e incluyen:

Subcuenca del río Caimito: incluye el río Del Medio (PMC-Caimito) como sitio de muestreo cercano y el propio río Caimito (PML-Caimito) como sitio de muestreo lejano, aguas debajo de la presa de relaves.

- Subcuenca del río Botija: incluye el propio río Botija (PMC-Botija) como sitio de muestreo cercano, aguas debajo del tajo de Botija, y más alejado sobre el río San Juan de Turbe (PML-Botija) como sitio de muestreo lejano.
- Subcuenca del río Petaquilla: con el río Petaquilla en un punto cercano aguas debajo de los tajos de Colina y Valle Grande (PMC-Petaquilla) y un punto adicional a los empleados en anteriores monitoreos situado más alejado aguas abajo (PML-Petaquilla) del mismo río.
- Subcuencas de referencia: en las que se han seleccionado los ríos Hoja (REF-Hoja) y Rinconcito (REF-Rinconcito) no influenciados por las actividades del proyecto.

Este año el monitoreo se ha dividido en dos campañas: la primera, en los sitios de muestreo sobre la cuenta del río Caimito (dos sitios de monitoreo) y el sitio de referencia sobre el río Hoja durante los días 21 y 22 de febrero; y la segunda en el resto de sitios en los días 1 al 4 de mayo y al final de la estación seca.

Durante este período, las condiciones atmosféricas fueron muy similares, con cielos nublados o muy nublados (80-100% nubes), y con presencia de lluvia y aguaceros y una temperatura ambiente en el rango de 28-31°C.

Los flujos estimados de agua para los ríos Rinconcito, Petaquilla, Botija y Del Medio fueron medios-bajos y propios de una época que se corresponde con el final de la estación seca, con caudales del orden de 1,0-2,0 m³/s. Destaca el moderado caudal de los ríos Caimito y San Juan de Turbe, con valores estimados de 30 y 50 m³/s respectivamente. En el caso del río San Juan de Turbe, se tuvo que esperar para poder realizar el monitoreo más de un día a que el caudal descendiera después de un fuerte aguacero.

Las medidas de parámetros físico-químicos del agua efectuadas con sonda multiparamétrica in situ, indica que las aguas de los ríos estudiados presentan moderada a alta concentración de oxígeno disuelto (81-98% de saturación), moderadas a bajas conductividades (40-254 µS/cm) y un pH ligeramente ácido o próximo al neutro (6,1-7,8 unidades pH). Por tanto, son aguas bien oxigenadas, pH ligeramente ácidos a neutros y de baja a moderada carga iónica.



Durante este año 2019 se ha apreciado en la mayoría de los ríos una menor carga de sólidos en suspensión, con aguas más limpias y ausencia de turbidez en los ríos en donde el año 2016 presentaban elevada turbiedad (por ejemplo, el río Hoja). Incluso en el río Petaquilla, que está asociado con actividades mineras ilegales en su cuenca, principalmente en su tramo más bajo (PML-Petaquilla), presenta bajas conductividades (40 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y un agua clara (<5 NTU de turbidez). Por su parte, en el río Caimito la turbidez registrada ha estado asociada con condiciones naturales del río tras un período de lluvias y arrastres en su cuenca vertiente propio de la época del año.

Se destaca que en ningún río se incumplen los límites para temperatura (variaciones superiores a 3° de las condiciones naturales), pH (6,5-8,5 unidades pH), turbiedad (50-100 NTU), sólidos en suspensión (<50 mg/L) y oxígeno disuelto (6-7 mg/L) del Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.

Las aguas se caracterizan por su baja dureza y contenido en nutrientes, con escaso contenido en carbono orgánico disuelto (COD). Los sólidos en suspensión han sido bajos en todos los sitios, cumpliéndose con el límite de 50 mg/L que establece el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.

No se han encontrado diferencias significativas con otros monitoreos, solo aquellas relacionadas por aumentos puntuales de los sólidos y nutrientes debidos a arrastres naturales en episodios de fuertes lluvias, en los que las concentraciones de estos parámetros pueden superar los valores límites que se han tomado como referencia.

Se destaca que todos los metales incluidos en el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008 en agua (arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo) cumplen con los límites de calidad. Para el cobre, y por su interés en este monitoreo, se han obtenido concentraciones por encima del valor de referencia de 0,01 mg/L en todos los sitios y, en particular, en los sitios de muestreo REF-Hoja, PMC-Caimito y PMC-Botija, No se ha valorado, ya que se trata de un valor de referencia no legal.

Para metales pesados en sedimentos y teniendo en cuenta la norma canadiense de referencia, el cinc solo incumpliría para límites bajos en el río Petaquilla. Para el cobre se incumpliría para límites bajos (LEB) en todos los puntos, excepto en PMC-Botija, PMC-Petaquilla y PML-Petaquilla que también se incumpliría en límites efectos altos (LEA). Para todos los sitios de muestreo, el resto de metales en sedimentos cumple con el límite de efectos bajos (LEB).

Por comparación con los valores de referencia señalados en la bibliografía en peces, cabe destacar que el arsénico, cadmio, cinc y selenio (excepto en PMC-Caimito) se encuentran por encima del rango bajo de los valores de referencia en peces, no alcanzando el rango alto de los mismos. Por su parte, el resto de metales presentan concentraciones por debajo del valor bajo de referencia en peces. Al no existir valores de referencia legales en Panamá, no se puede establecer el grado de cumplimiento legal para metales pesados en peces.

Al igual que ha sucedido en años anteriores, los valores en camarones fueron notablemente mayores que las que se encontraron en los tejidos de los peces para ciertos metales. Se



observa una gran variabilidad en los resultados, sin un claro modelo de comportamiento entre estaciones. Panamá no cuenta con límites legales para este indicador, no se puede establecer un nivel de calidad objetivo para este parámetro. De todas formas, en el capítulo de estudio de tendencias se analiza la evolución de estos parámetros (tanto metales pesados en peces como en camarones) en los diferentes monitoreos realizados en el tiempo.

En total se han encontrado 20 taxones de macroinvertebrados en el monitoreo de febrero, que pertenecen a otras tantas familias, destacando por su representatividad y abundancia los taxones *Emilidae*, *Leptophlebiidae*, *Palaemonidae* (especialmente en la estación PML-Caimito) y *Thiaridae*. El grupo de los *Chironomidae* está bien representado, aunque con densidades moderadas a bajas. La estación con densidades más bajas de macroinvertebrados han sido la del río Caimito lejano, aunque los otros ríos presentan valores igualmente altos.

En la campaña de mayo se han registrado 18 taxones de macroinvertebrados, que pertenecen a otras tantas familias, destacando por su representatividad y abundancia los taxones *Emilidae* y *Philopotamidae*. El grupo de los *Chironomidae* está, también, bien representado en este monitoreo, aunque con densidades moderadas a bajas. Se destaca la baja densidad de organismos en el río San Juan de Turbe comparado con otros años, debido al fuerte arrastre que sufrieron las comunidades biológicas como consecuencia de las fuertes lluvias de días anteriores.

Para las diatomeas bentónicas y perifiton, las muestras del monitoreo de febrero en Caimito y río Hoja, presentan la mayor riqueza con 14 y 12 especies, respectivamente. La especie con mayor distribución fue la *Cyanophyta Lyngbya spp.* (Oscillatoriaceae) representada en todas las estaciones analizadas. Otras dos especies pertenecientes a la misma división *Homoeothrix spp* (Homoeotrichaceae) y *Gloecapsa sp. 1* (Microleaceae), presentan una distribución interesante al ser encontradas en todos los sitios muestreados. *Fragilaria crotonensis* (Bacillariophyta, Fragilariaceae) se presenta también una amplia distribución en los ríos.

Las muestras de perifiton y diatomeas bentónicas en mayo de Petaquilla y Rinconcito, presentan la mayor riqueza con 13 especies, respectivamente. La especie con mayor distribución fue *Fragilaria crotonensis*, una diatomea representada en todas las estaciones analizadas. Otras dos especies pertenecientes a la misma división *Homoeothrix spp* (Homoeotrichaceae) y *Gloecapsa sp. 1* (Microleaceae), presentan una distribución interesante al ser encontradas en gran parte de los sitios muestreados.

Como es natural, no parece haber una relación clara entre el contenido en Clorofila “a” y la densidad del fitobentos, debido al diferente contenido de este pigmento en las células analizadas y variable en función de cada especie. Se han registrado valores propios de aguas con media productividad algal.

Se han registrado un número variable de taxones de peces, con un máximo de 11 en el río Botija, en el punto de muestro de San Benito y un mínimo de 4 en el río del Medio. Las densidades también han sido muy variables, con máximos en el río Caimito y un mínimo en el río Petaquilla. En consonancia, las diversidades han variado de 1,13 bits en el río Del Medio a 1,86 bits en Petaquilla.



Las especies con mayor número de individuos fueron *Sicydium altum*, seguido de *Brachyrhaphis cascajalensi*, *Agonostomus monticola*, *Andinoacara coeruleopunctatus*, *Bryconamericus emperador* y *Hyphessobrycon panamensis* y *Gobiomorus dormitor* (só lo registrado en el monitoreo de febrero).

Las capturas por unidad de esfuerzo (CPUE), fueron menores en PMC-Petaquilla y PML Petaquilla. Sin embargo, las mayores capturas se registraron para REF-Rinconcito, PMC-Botija y PML Caimito. Es importante señalar, que estos datos han sido similares en los últimos tres años de muestreo. En particular, Ref Hoja que durante los últimos muestreos ha presentado los CPUE más bajos, a pesar de las diferentes técnicas de muestreo que se utilizan y las condiciones ambientales variables, que ha presentado al momento de la colecta. Esto nos puede indicar, que la abundancia de peces en este afluente es baja y puede deberse a varios factores, uno de ellos, el grado de intervención antrópica en las riberas del río.

Las especies registradas durante el monitoreo forman parte de la fauna característica de los ríos y quebradas de la zona, donde factores tales como la altitud, tipología del río y la temperatura del agua condicionan su presencia. En general, siguen el patrón normal de distribución de las especies en los ríos subtropicales, es decir, a medida que se sube por el río se espera encontrar una baja diversidad de estas.

Aunque la valoración hidromorfológica y del hábitat fluvial de los tramos seleccionados ha sido muy favorable, se señala que en el caso del río Petaquilla lejano no se han observado durante este año 2019 mayores alteraciones puntuales de las riberas en la margen derecho e izquierdo debido a extracciones de minería ilegal y en el río Botija por corta de la vegetación natural.

El porcentaje (en peso total para cada muestra) de arena mediana a muy fina se encuentra inferior al 5% en la mayor parte de los cauces estudiados. Por consiguiente, se puede afirmar que las condiciones de arraigo en los sitios estudiados no se encuentran afectados por aportes antrópicos, con una composición del sedimento propia de ríos subtropicales de la vertiente caribeña de Panamá.

Una vez calculados los indicadores de estado de calidad para cada uno de los elementos físico-químicos (aguas, sedimentos y biota), biológicos e hidromorfológicos, para valorar y diagnosticar el estado ecológico final de los ríos estudiados –con todos los elementos en conjunto-, se ha seguido el esquema de toma de decisiones basado en la metodología propuesta por la Comisión Europea en el documento guía sobre clasificación del estado ecológico (European Comission, 2003).

El estado ecológico se define como una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales. Se establecen cinco clases de estado ecológico, en función del grado de alteración de la masa de agua respecto a sus condiciones de referencia: MUY BUENO, BUENO, MODERADO, DEFICIENTE Y MALO.

Han quedado clasificados finalmente como BUENO los ríos Hoja y Rinconcito (sitios de referencia) y el río Caimito lejano. Con estado ecológico MODERADO los ríos Botija, San Juan de Turbe y los dos sitios de monitoreo en el río Petaquilla, aunque los resultados -



especialmente los macroinvertebrados- han estado afectados por las crecidas y lluvias acaecidas los días previos a los muestreos. El río Del Medio (PMC-Caimito) presenta muy buena calidad, con un estado ecológico de MUY BUENO.

Además de la valoración del estado ecológico, como una herramienta para el seguimiento de las condiciones de calidad de los ecosistemas de agua dulce superficiales a partir de la integración de diferentes índices de calidad, se ha procedido en el presente capítulo al análisis de los indicadores ambientales que se vienen empleando de forma rutinaria en el EEA.

Con el fin de resumir e interpretar estos resultados de la forma más sencilla posible, se ha utilizado una simbología que indica la tendencia de cada indicador en el tiempo en comparación con las condiciones de referencia y la línea de base del año 2012.

La tendencia de los cinco indicadores comparados entre la línea base del año 2012, años 2015, 2016, 2017, 2018 y el presente monitoreo (2019) indican variaciones poco significativas entre los mismos.

En este sentido, se destaca que las condiciones generales analizadas han variado muy poco con respecto al año 2012 -con excepción de variaciones atribuibles a causas ajenas al posible impacto de la mina-, no apreciándose por el momento una tendencia hacia peores condiciones en la salud de los ecosistemas acuáticos (abióticos y bióticos) asociados con las actividades de la mina.

Ciudad de Panamá
5 de julio de 2019



1. INTRODUCCIÓN

Minera Panamá S.A. está desarrollando el proyecto Mina de Cobre Panamá en el distrito de Donoso, provincia de Colón, en el sector central-norte de Panamá. El Proyecto excavará y procesará mineral de sulfuro de cobre que ha sido definido en una concesión de 13,000 hectáreas que está ubicada a 120 km al oeste de la Ciudad de Panamá y a 20 km de la costa del mar del Caribe. El proyecto incluye, además, la construcción de instalaciones portuarias, que permitirán la carga de concentrado y la descarga del carbón, asociado con el funcionamiento de la termoeléctrica.



Figura 1. Ubicación del proyecto de Minera Panamá

Estas actividades tienen el potencial de impactar los aspectos biológicos, físico-químicos e hidromorfológicos Del Medio ambiente acuático y, por lo tanto, se necesita un programa de monitoreo para evaluar la efectividad de las medidas de control y mitigación.

En el presente Informe Final se describen la metodología y resultados obtenidos en el monitoreo completado en el año 2019 en los ríos Caimito (dos sitios de monitoreo) y Hoja (un sitio de monitoreo) durante los días 21 y 22 de febrero y en el resto de sitios de monitoreo en los ríos Rinconcito, Petaquilla, Botija y San Juan de Turbe en los días 1 al 4 de mayo al final de la estación seca, como parte del Monitoreo de Ecosistemas de Agua Dulce iniciado en el año 2012¹.

¹ El evento en abril de 2012 se hizo antes de cualquier actividad significativa en el sitio, por lo que sirve como evento de muestreo "antes" o condiciones de referencia (blanco).



Los capítulos principales que contiene el informe son los siguientes:

- Metodología de los trabajos, con una descripción detallada de las metodologías seguidas en los muestreos y análisis físico-químicos –en agua y sedimentos-, biológicos (muestreos de macroinvertebrados, diatomeas bentónicas o perifiton y peces), muestreos hidromorfológicos (hábitat fluvial, vegetación de ribera y mediciones de arraigo²) y análisis de metales pesados en agua, sedimento y biota (peces y camarones).
- Resultados obtenidos para cada elemento ambiental estudiado, con especial referencia a los indicadores ambientales y su estado de calidad, ya que son los que permitirán seguir la evolución y la tendencia de la calidad y estado ecológico del ecosistema acuático a lo largo del período de actividad de la mina.
- Un análisis de tendencias de los indicadores ambientales, teniendo en cuenta los resultados iniciales del año 2012 y estudios completados en los últimos monitoreos.
- Continuando con los trabajos iniciados en el año 2016, estudio del estado ecológico de los ecosistemas fluviales, teniendo en cuenta la valoración del estado de calidad de cada uno de los elementos de calidad e indicadores físico-químicos, biológicos e hidromorfológicos obtenidos en el año 2019.



Diferentes momentos de los trabajos realizados para el monitoreo de los ecosistemas de agua dulce durante el año 2019.

² El arraigo se refiere al grado en que los elementos más grandes del sustrato en una corriente o río (piedras, grava) están cubiertos por sedimentos más finos.



2. OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA

El objetivo principal de la presente consultoría es continuar con el Plan de Monitoreo de Ecosistemas de Agua Dulce iniciado en el año 2012, mediante un Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés) dirigido a asegurar que los controles ambientales para los afluentes, sedimentos y agua y otras medidas de mitigación sean efectivos para la protección de la viabilidad de los ecosistemas acuáticos de agua dulce alrededor de las operaciones de la mina.

Como objetivos específicos se destacan:

- Cumplir los compromisos del EsIA.
- Asegurar que el diseño ambiental y controles implementados sean efectivos para la protección de los ecosistemas acuáticos.
- Desarrollar un programa de monitoreo que permita la evaluación de las tendencias a largo plazo.

De esta forma, se ha continuado con la aplicación de los índices e indicadores ambientales establecidos en MINERA PANAMÁ, con el fin de conocer cómo evolucionan en el tiempo y su grado de afectación por las actividades de la mina.

Continuando con los trabajos iniciados en el año 2016, y como objetivo complementario, se persigue la valoración del “estado ecológico” de cada uno de los sitios de muestreo, teniendo en cuenta los siguientes elementos de calidad e indicadores o índices:

- Elementos de físico-químicos: parámetros de calidad de agua y metales pesados en agua, sedimentos y biota.
- Elementos de calidad biológicos: macroinvertebrados (índice IBMW/PAN), perifiton (índice IPS) y peces (índice IBI).
- Elementos hidromorfológicos: vegetación de ribera (índice QBR-PAN), hábitat fluvial (índice IHF-PAN) y arraigo (índice de arraigo IA).

Una vez calculados los indicadores de calidad físico-químicos, hidromorfológicos y biológicos, para valorar y diagnosticar el estado ecológico se ha seguido el esquema de toma de decisiones basado en la metodología adoptada en el “Proyecto de Saneamiento de los ríos y quebradas de la Ciudad de Panamá y del medio marino de la Bahía de Panamá” del Ministerio de Salud y según los criterios de la Directiva Marco del Agua en Europa (DMA, 200/60/CE). El estado ecológico de cada uno de los sitios de muestreo se ha clasificado dentro de las cinco clases en función de los resultados obtenidos en cada uno de los indicadores e índices físico-químicos, hidromorfológicos y biológicos: muy bueno, bueno, aceptable, deficiente y malo.



3. METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS

3.1. Actividades realizadas

Para el desarrollo del programa de monitoreo se ha completado en el año 2019 dos campañas de muestreo: la primera, en los ríos Caimito (dos sitios de monitoreo) y Hoja (un sitio de monitoreo) durante los días 21 y 22 de febrero; la segunda en el resto de sitios en los días 1 al 4 de mayo al final de la estación seca. De acuerdo con el EEM, la campaña de muestreo fue diseñada para caracterizar tres tipos de variables o elementos de calidad:

- 1) Elementos físico-químicos.
- 2) Elementos biológicos.
- 3) Elementos hidromorfológicos.

Si bien los elementos físico-químicos han sido los que tradicionalmente se han empleado para el seguimiento de la calidad de las aguas, la información que ofrecen refleja un estado puntual de las condiciones del elemento agua. Por ello, esta información se ha complementado con la aportada por elementos biológicos e hidromorfológicos, que aportan una visión integrada e integradora del estado ecológico de las masas superficiales a medio y largo plazo.

Los parámetros que se han analizado dentro del grupo de elementos físico-químicos incluyeron medidas in situ de parámetros físico-químicos, toma de muestras y análisis de parámetros generales de calidad en agua y análisis de metales pesados en agua, sedimentos y biota (peces y camarones).

Dentro de los elementos de calidad biológica se han tomado muestras y estudiado en el laboratorio los macroinvertebrados bentónicos, según procedimientos estándares internacionales y recomendaciones del Instituto Commemorativo Gorgas de Estudios de la Salud (ICGES). Igualmente, se han incluido el estudio de las diatomeas bentónicas o perifiton y las comunidades de peces. En el tercer grupo –elementos hidromorfológicos- se han obtenido las variables del hábitat físico fluvial que se requiere para la determinación de los índices de calidad hidromorfológicos. Asimismo, se continúa en este trabajo con el estudio de arraigo para la evaluación de la erosión y de la condición relativa del hábitat.

Para los valores de referencia o guía de los parámetros de calidad de aguas (físico-químicos) se ha empleado la siguiente normativa vigente en Panamá, así como normativa específica de referencia para niveles de metales pesados en sedimentos.

- Agua: Norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo para la categoría “sin contacto directo”. Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.
- Sedimentos: Protocolo del Consejo Canadiense del Ministerio del Ambiente (CCME) y Ley holandesa de suelos contaminados: “Soil Clean-Up Act.1983”.



- Para el contenido de metales en peces y camarones, se han empleado diferentes valores de referencia recogidos en normativas internacionales y que ha sido elaborado por expertos de MINERA PANAMÁ.

Para los indicadores biológicos (macroinvertebrados), se han utilizado las clases de calidad de macroinvertebrados propuesto por el ICGES para el índice BMWP/PAN (propio de Panamá), el índice de calidad de diatomeas bentónicas (IPS) y un índice para las comunidades de peces basado en diferentes atributos y características estructurales y fisiológicas (índice IBI).

Por su parte, para evaluar la calidad hidromorfológica se han empleado los valores de clases de calidad para los índices hidromorfológicos (índices QBR-PAN e IHF-PAN) adaptados recientemente a las aguas de Panamá.

Asimismo, con el fin de tener una visión global y sintética de las condiciones ambientales de los medios acuáticos que incluyera los tres elementos estudiados (físico-químicos, biológicos e hidromorfológicos), se ha determinado el estado ecológico de las masas de agua continentales siguiendo los criterios de la Directiva Marco del Agua (DMA) en la Unión Europea, adaptadas al caso de las aguas en Panamá.

3.2. Sitios de muestreo

El diseño original de los emplazamientos de cada punto realizado en el año 2012 dependió del establecimiento de sitios de muestreo cercanos al proyecto (Punto de Muestreo Cercano, PMC), sitios de muestreo río abajo (Punto de Muestreo Lejano, PML) y sitios de muestreo de referencia (REF) que son áreas no influenciadas por el proyecto. Estos sitios de muestreos se ubicaron dentro de los cauces receptores de las principales subcuencas afectadas por el proyecto (**Figura 2**) que incluyen:

- Subcuenca del río Caimito: incluye el río Del Medio (PMC-Caimito) como sitio de muestreo cercano y el propio río Caimito (PML-Caimito) como sitio de muestreo lejano, aguas debajo de la presa de relaves.
- Subcuenca del río Botija: incluye el propio río Botija (PMC-Botija) como sitio de muestreo cercano, aguas debajo del tajo de Botija, y más alejado sobre el río San Juan de Turbe (PML-Botija) como sitio de muestreo lejano.
- Subcuenca del río Petaquilla: con el río Petaquilla en un punto cercano aguas debajo de los tajos de Colina y Valle Grande (PMC-Petaquilla) y un punto adicional a los empleados en anteriores monitoreos situado más alejado aguas abajo (PML-Petaquilla) del mismo río.

Subcuencas de referencia: en las que se han seleccionado los ríos Hoja (REF-Hoja) y Rinconcito (REF-Rinconcito) no influenciados por las actividades del proyecto.

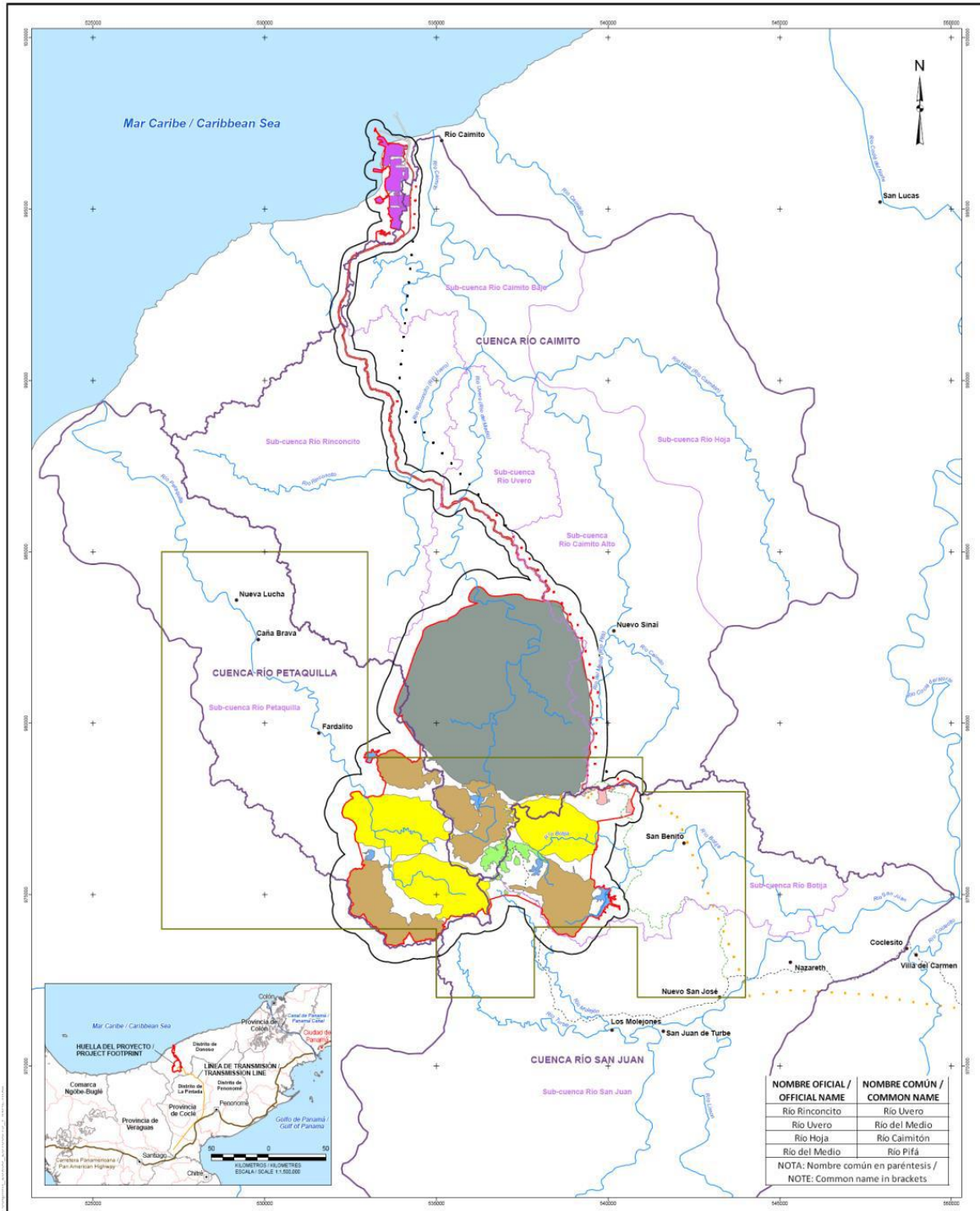


Figura 2. Ubicación de las subcuencas afectadas por las actividades del proyecto (minas a cielo abierto de color amarillo, áreas de depósito de roca estéril de color chocolate y área de gestión de relaves de color gris).



En la propuesta del año 2012, se plantearon siete (7) sitios de muestreo, que para el presente monitoreo de 2019 –al igual que se hizo en los años 2016, 2017 y 2018- se han ampliado a ocho (8) sitios, incluyendo un (1) punto adicional en el río Petaquilla (PML-Petaquilla) aguas abajo del punto inicialmente establecido, que se sigue manteniendo (PMC-Petaquilla).

En el el **Cuadro 1** se indican las principales características de los sitios y en el **Anexo 1** se recoge una FICHA DESCRIPTIVA para cada uno.

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE MUESTREO					
NOMBRE (CÓDIGO SITIO)	RÍO	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS		DESCRIPCIÓN Y CÓDIGO CADENA DE CUSTODIA DE MUESTRAS
			ESTE	NORTE	
REF-Hoja	Río Hoja	Referencia	537121	990012	Ubicado sobre el brazo principal Código cadena custodia: 1HO
REF-Rinconcito	Río Rinconcito	Referencia	535002	989768	Ubicado sobre un pequeño tributario. Código cadena custodia: 1RI
PMC-Caimito	Ríos Del Medio y Caimito	Punto de Muestreo Cercano	536373	988352	Sobre río Del Medio , aguas abajo de la presa de relaves. Código cadena custodia: 3CA
PML-Caimito		Punto de Muestreo Lejano	536244	991898	Ubicado sobre el cauce del río Caimito. Código cadena custodia: 4CA
PMC-Botija	Ríos Botija y San Juan de Turbe	Punto de Muestreo Cercano	541972	976567	Sobre el río Botija, aguas abajo del tajo, en San Benito. Código cadena custodia: 5BO
PML-Botija		Punto de Muestreo Lejano	549121	974840	Sobre el río San Juan de Turbe, más alejado del tajo. Código cadena custodia: 6BO
PMC-Petaquilla	Río Petaquilla	Punto de Muestreo Cercano	531420	980178	Sobre el cauce del río Petaquilla, en campamento Lata, aguas abajo de los tajos Colina y Valle grande. Código cadena custodia: 7BO
PML-Petaquilla		Punto de Muestreo Lejano	529595	982766	Ubicado aguas abajo en el río Petaquilla. Código cadena custodia: 8BO



En la **Figura 3** se muestran las ubicaciones de los sitios de muestreo seguidos en el año 2019. Para su ubicación, se ha generado un Modelo Digital del Terreno (MDT) a partir de la información cartográfica disponible, sobre el que se ha georeferenciado cada sitio de muestreo con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en soporte ARCGIS en su última versión.

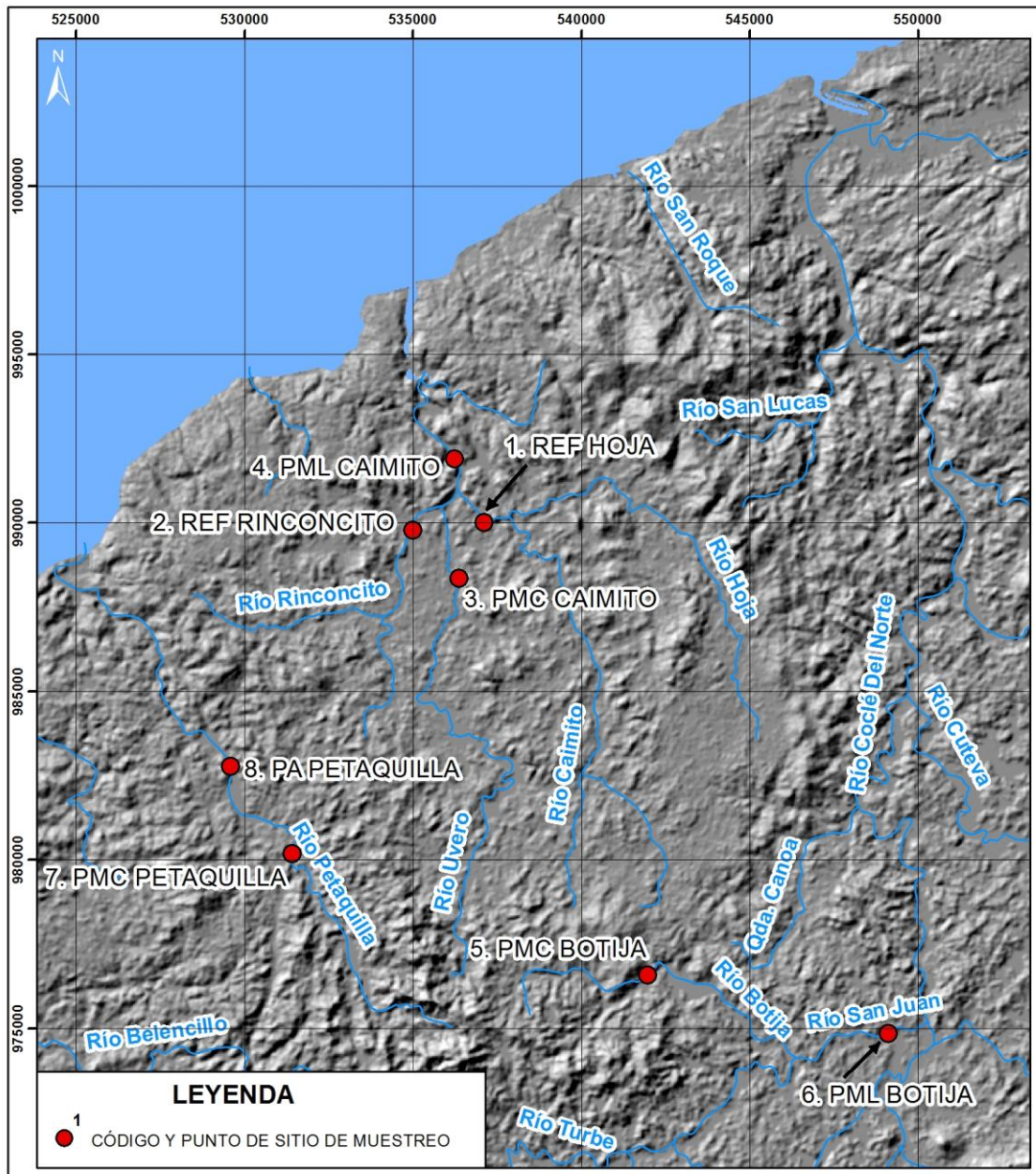


Figura 3. Localización de los sitios de muestreo propuestos sobre MDT en entorno SIG.



El conjunto de los muestreos fue llevado a cabo por un equipo de cuatro técnicos cualificados, siguiendo los procedimientos estipulados en los TdR de la consultoría. Para optimizar el trabajo, las tareas fueron divididas entre los técnicos, realizando dos de ellos el muestreo de elementos biológicos y los otros dos la caracterización físico-química y del hábitat fluvial.

En todo momento se contó con el inestimable apoyo y medios (personal, instalaciones, helicóptero, embarcación, etc) de MINERA PANAMÁ, a la que se traslada todo el agradecimiento y consideración.

3.3. Metodología de estudio de parámetros y variables físico-químicas

Durante la realización de la campaña, y en cada sitio de muestreo, se llevaron a cabo medidas *in situ* con un equipo y sonda multiparamétrica (YSI PROFESSIONAL) de los siguientes parámetros y variables físico-químicos de calidad de aguas:

- Temperatura del agua (°C)
- pH (en unidades pH)
- Oxígeno disuelto (mg/L y % saturación)
- Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$ referida a 25°C)
- Sólidos totales disueltos (g/L)
- Turbidez (NTU)

El método consistió en la introducción del cable-sonda en el agua en una zona de mezcla y a una profundidad aproximada de 0,20 m. El registro de datos se produjo una vez estabilizados los valores medidos, especialmente el oxígeno disuelto. Después de cada muestreo los electrodos fueron lavados con agua destilada.

La sonda se verificó todas las mañanas antes de comenzar la jornada de campo, y se verificó al final de la misma, empleando siempre patrones homologados.

También se evaluó el color aparente del agua mediante interpretación visual directa.

Asimismo, en cada sitio de muestreo se tomaron muestras de agua para analizar los siguientes parámetros y variables físico-químicas en el laboratorio: TSS, DOC, sólidos en suspensión (SS), dureza, alcalinidad, amoníaco, nitrato, nitrógeno Kjeldahl, fósforo total y total de metales pesados. Los metales pesados para los análisis de agua fueron: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se y Zn.



Medidas in situ con equipos multiparamétricos de calidad de aguas y toma de muestras de agua.

Las muestras de agua recogidas se conservaron con conservantes adecuados en recipientes de plástico y vidrio (según analito) correctamente identificado y almacenado en nevera refrigerada a 4°C hasta su entrega en el laboratorio. Se han seguido los métodos de conservación para cada parámetro indicados en el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods. Los métodos de análisis y límites de cuantificación se incluyen en el **Cuadro 2**.

CUADRO 2. MÉTODOS DE ANÁLISIS QUÍMICO Y LÍMITES DE CUANTIFICACIÓN EN AGUA				
PARAMETRO	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO DE ANÁLISIS	LC*
Fósforo total*	PT	mg/L	Método Estándar HACH 8048	< 0,02
Nitrógeno Amoniacal	NH4	mg/L	Método Estándar 4500 NH3C	< 0,02
Nitratos*	NO3	mg/L	Método Estándar HACH 8039	<0,3
Nitrógeno orgánico	NORG	mg/L	Método Estándar 4500 org	<0,2
Sólidos en suspensión	SS	mg/L	Método Estándar 2540 D	<1
Carbono orgánico disuelto	DOC	mg/L	Método Estándar 5310	<1
Dureza	DUR	mg/L CaCO ₃	Método Estándar 2340	<5
Alcalinidad	ALC	mg/L CaCO ₃	Método Estándar 2320	<10

*Lc: Límite de Cuantificación. * Analizados en menos de 3-4 h del muestreo en el campamento de mina.

Igualmente, se tomaron muestras de sedimento en los sitios de muestreo para el análisis de los siguientes parámetros: carbono orgánico total (COT) y metales: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se y Zn.

Las muestras de sedimentos se recogieron con una pala de teflón en las zonas centrales de los cauces de los ríos. Las muestras recogidas se conservaron en recipientes de plástico y vidrio (según analito) correctamente identificados y almacenadas en neveras congeladas hasta su entrega en el laboratorio.



Con el fin de evaluar si las operaciones están desplazando metales se ha llevado a cabo el muestreo y análisis del tejido de peces y macroinvertebrados, a partir de las capturas de ejemplares realizados en los muestreos con pesca eléctrica. Para peces, se recolectaron ejemplares de guabinas (*Gobiomorus dormitor*) en el primer monitoreo de febrero 2019 y tities³ (*Sycidium altum*) en el segundo monitoreo de mayo de 2019 y para camarones ejemplares de *Macrobrachium spp.* Los metales analizados en peces y camarones han sido los siguientes: Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, V y Zn.

Las muestras de peces y camarones se lavaron previamente con agua desionizada. En los peces, se extrajeron los tejidos musculares por encima de la línea lateral y a nivel del inicio de la aleta dorsal del pez completo, utilizando un cuchillo limpio de teflón. En los camarones, los tejidos se extrajeron después de remover las vísceras y las conchas, utilizando un cuchillo limpio de teflón.

Con los tejidos extraídos se formaron un pool de 3 organismos para cada una de las especies de peces y de 5 para los camarones. Los cortes se introdujeron en bolsas de polietileno y se congelaron a -20°C hasta su envío al laboratorio. Una vez en el laboratorio, las muestras se secaron hasta peso constante a 80°C utilizando una estufa, maceradas en un mortero de porcelana y homogenizadas, hasta obtener 2 g de muestra seca.

Posteriormente al secado, las muestras se trituraron con mortero de porcelana o en molinillo eléctrico, separando las porciones más gruesas. Se pasaron por un tamiz de 0.063 mm para obtener la fracción fina. Se pesaron $0,30 \pm 0,01$ gramos de la muestra (fracción de 0,063 ó 0,4 mm) y se colocaron en un reactor de PTFE del microondas. A continuación, se adicionaron 10 mL de HNO_3 y 2 mL de H_2O_2 , se cierra herméticamente y se realiza la mineralización. Después de mineralizar la muestra, el residuo obtenido se filtra y se lleva a un matraz de 100 mL. Después, se enrasa con agua destilada. La muestra está en disolución, preparada para el análisis. El análisis de las muestras se llevó a cabo en un ICP-MS (Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo). Modelo Perkin Elmer NexION 300.

Los límites de cuantificación para los diferentes metales analizados en sedimentos y biota (peces y camarones) son los siguientes (ver **Cuadro 3**), siempre referidos a peso seco.

3 Se trata de los peces conocidos como chupapiedra o tití (*Sycidium altum*). Pertenecen a la familia Gobiidae (gobios). Los adultos van a desovar en los estuarios (bocas de los ríos); después de nacer, crecer como larvas y alcanzar el estado de alevín o juvenil, los chupapiedras remontan el río hasta los sitios en donde se establecen, crecen, hasta repetir el ciclo, por lo que es considerada una especie diádroma en los ríos panameños.

CUADRO 3. LÍMITES DE CUANTIFICACIÓN PARA LOS DIFERENTES METALES ANALIZADOS

ANALITO	UNIDADES	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN (LC en mg/Kg peso seco)
Al	mg/Kg	6,9
As	mg/Kg	0,69
B	mg/Kg	6,9
Cd	mg/Kg	0,69
Cr	mg/Kg	3,6
Cu	mg/Kg	1,8
Fe	mg/Kg	6,9
Hg	mg/Kg	0,06
Mn	mg/Kg	3,6
Ni	mg/Kg	3,6
P	mg/Kg	3,6
Pb	mg/Kg	0,69
Sb	mg/Kg	0,69
Sn	mg/Kg	0,69
Zn	mg/Kg	3,6



Preparación en laboratorio de las muestras de peces y camarones previo a su análisis en metales pesados.



3.4. Metodología de estudio de elementos biológicos

3.4.1. Protocolo de muestreo de macroinvertebrados

Para el muestreo de macroinvertebrados se ha empleado la metodología de *hábitat múltiple* con una red tipo D, con apoyo de un muestreador tipo Hess de 33 cm de diámetro. Se centra en un esquema multihábitat diseñado para muestrear los hábitats mayoritarios con una representación proporcional a su presencia en el tramo de muestreo.

La estación de muestreo en cada uno de los sitios ha sido un tramo seleccionado de 100 m representativo de las características del cuerpo de agua. El tramo presentará los tipos de hábitat más frecuentes en el cuerpo de agua, de modo que existan duplicados de elementos físicos y estructurales (por ejemplo, la secuencia rápido-pozas, etc.). Se han tenido en cuenta los siguientes cinco grupos de hábitats para el macrobentos (ver **Figura 4**):

- Sustratos duros: predominantes en zonas de rápidos, característicos de la mayor parte de los cauces de montaña y piedemonte.
- Detritos vegetales: los detritos y otros restos vegetales que han permanecido sumergidos durante un tiempo relativamente largo (no recién caídos), proporcionan una excelente colonización.
- Orillas vegetadas: bancos sumergidos, con raíces y plantas emergentes asociadas a ellos.
- Macrófitos sumergidos: son estacionales y pueden no estar presentes en todos los cauces, particularmente en los de tramo alto.
- Arena y otros sedimentos finos: normalmente el hábitat de macroinvertebrados menos productivo. Puede ser el predominante en algunos cauces.



Muestreo de macroinvertebrados.

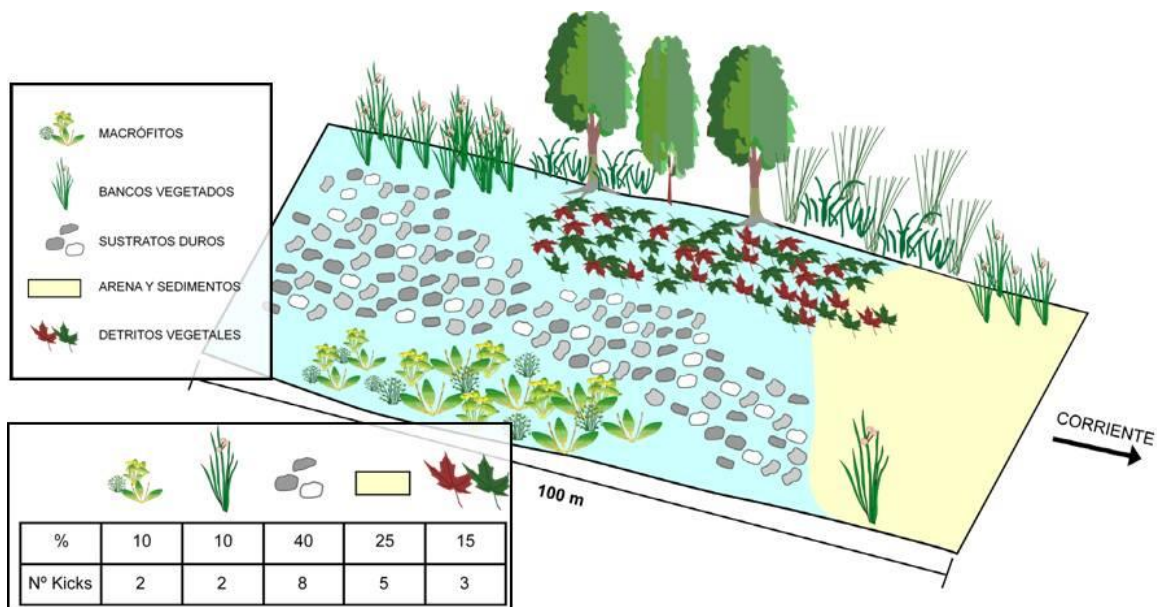


Figura 4. Repartición de las unidades de muestreo entre los diferentes hábitats.

Se ha repartido las 10 unidades de muestreo que se van a realizar entre los distintos tipos de hábitats presentes en el tramo. Dicha distribución se hace de forma proporcional al área ocupada por cada uno de dichos hábitats, de manera que cada muestra se corresponde al 5% de la superficie de cobertura de un hábitat. Los tipos de hábitats antes mencionados pueden subdividirse en función de las variaciones observadas en el campo y esto deberá reflejarse en la manera de repartir las unidades de muestreo.

Cada unidad de muestreo incluye la remoción del sustrato situado en el espacio de 0,09 m² delimitado por el muestreador tipo Hess empleado, con un total de 10 muestras por sitio y un área total muestreada de 0,9 m². El muestreo se realiza de aguas abajo hacia aguas arriba teniendo en cuenta las unidades de muestreo previamente definidas. Una vez obtenida la muestra, se procedió in situ a su limpieza previa y a su conservación con alcohol en recipientes adecuados.

Para todas las muestras se ha realizado inventario de los taxones presentes a nivel de familia y sus abundancias. Con dichos inventarios se han calculado los índices que se están empujando en Panamá en las diferentes redes biológicas con el fin de que los datos puedan compararse y, de esta manera, poder seguir la evolución de la calidad de los ríos objeto de estudio. La evaluación estadística de los datos bentónicos estará basada en la siguiente métrica:

- Densidad total de los invertebrados;
- Densidad de los principales grupos taxonómicos;
- Riqueza de los taxones;
- Diversidad y uniformidad según Simpson;
- Índice de Similitud de Bray Curtis;



- Taxones de efímeras, plecópteros y tricópteros (EPT) y la abundancia de los grupos individuales y
- Cantidad de taxones quironómidos y su abundancia.
- Nuevo índice en base a macroinvertebrados de Panamá (BMWP/PAN)⁴.

3.4.2. Protocolo de muestreo de diatomeas bentónicas

La metodología utilizada para realizar los muestreos de diatomeas bentónicas ha seguido el *Protocolo de muestreo y laboratorio de flora acuática (organismos fitobentónicos) en ríos código: MI-R-D-2013* del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España.

Por su parte, para el cálculo del índice IPS de calidad de aguas para este parámetro se ha seguido el *Protocolo de cálculo del índice de polusensibilidad específica código: IPS-2013* del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España.

Se analizaron las muestras de perifiton para cuantificar el contenido de clorofila “a” y una submuestra se utilizó para el análisis taxonómico de diatomeas según métodos normalizados (Standard Methods, 22 ed.).



Toma de muestras de diatomeas en sustratos expuestos del río.

⁴ Cornejo R., A. 2010. Macroinvertebrados acuáticos bioindicadores de la calidad del agua en Panamá: Propuesta de Índice BMWP/PAN. Reunión especial: Macroinvertebrados dulceacuícolas en Mesoamérica (MADMESO), 15-19 de junio, 2010, Villahermosa, Tabasco, México.



3.4.3. Protocolo para el estudio de peces

Para el estudio de peces se realizaron en todos los sitios de muestreo capturas con pesca eléctrica en tramos de longitud variable (100-300 m), empleando un equipo de muestreo SUSAN 1030NP propiedad de la empresa. El equipo está compuesto por un generador de potencia conectando a un transformador-rectificador, para rectificar a corriente continua la alterna suministrada por éste. Con objeto de no dañar a los individuos y reducir el riesgo entre los muestreadores se utilizaron intensidades inferiores a 1 A y voltajes variables.

En cada tramo se realizó una sola pasada, que incluyó el muestreo de todos los hábitats ocupados por los peces durante 30 minutos, lo que permitió calcular el esfuerzo de pesca por unidad de tiempo (EPPU). Los peces capturados se midieron con un ictiómetro de ± 1 mm y se pesaron al 0.001 g más cercano empleando una balanza portátil que permitió una medición con una precisión de $\pm 5\%$. Posteriormente, se devolvieron vivos a los ríos.

Igualmente, se evaluó el estado de salud de cada pez capturado mediante la observación directa de posibles anomalías externas, tales como parásitos, malformaciones, tumores o cicatrizaciones. Además, se calculó el índice gonadal omático (IGS) tanto a hembras como a machos de todos los estadios de madurez, utilizado para estimar las épocas de desove, según la fórmula de Holden y Raitt (1975):

$$\text{IGS} = \text{Peso gonadal} \times 100 / (\text{Peso corporal} - \text{Peso gonadal}).$$

De forma adicional, se utilizó como medida de salud de los peces el factor de condición, mediante la fórmula:

$$\text{Factor de Condición} = \text{Peso corporal} \times 100 / (\text{longitud total})$$

Se empleó un sistema adicional para calcular las épocas de desove a partir de una escala estándar de estados de maduración gonadal de cinco fases: inmaduro, virgen madurando o recuperado, maduro, hidratado y en regeneración (Adaptada de Holden y Raitt, 1975).

Se observó el estado de madurez en que se encontraban los individuos tanto hembras como machos y se elaboró una escala de maduración, adaptando la encontrada en Holden y Raitt, 1975. Se graficó la cantidad de machos y hembras en cada estado de madurez en cada sitio.

Para estimar la fecundidad se utilizaron las hembras en fase hidratada (IV) a las cuales se le extirparon las gónadas y se pesaron. Se pesó 0.01 g de una gónada y se realizó un conteo aproximado de huevos, en base a este conteo se estimó la cantidad de huevos con el peso de la gónada entera.



ESCALA EMPÍRICA DE MADUREZ SEXUAL PARA LAS HEMBRAS DE LA ESPECIE
CENTINELA (*SICYDIUM ALTUM*), ADAPTADA DE HOLDEN Y RAITT, 1975.

FASE	ESTADO	ASPECTO GENERAL	FOTO
I	Inmaduro	Ovarios ocupan cerca de 1/3 de la longitud de la cavidad abdominal, ovocitos invisibles a simple vista.	
II	Madurando/ recuperación	Ovarios ocupan casi la mitad de la longitud de la cavidad abdominal, ovocitos visibles a simple vista.	
III	Maduro	Los ovarios cubren cerca de 2/3 de la cavidad abdominal. Aspecto granular, ovocitos visibles. Los ovocitos son grandes e identificables a simple vista.	
IV	Hidratado/ Desovando	Los ovarios ocupan toda la cavidad abdominal. Los ovocitos son de mayor tamaño que los de una gónada madura.	
V	Regeneración/Reversión	Ovarios flácidos, distendidos, contraídos a la mitad de la cavidad abdominal. Los ovarios pueden contener aún restos de ovocitos opacos, maduros y en desintegración. Este ovario pasa a la etapa II de esta escala.	

ESCALA EMPÍRICA DE MADUREZ SEXUAL PARA LOS MACHOS DE LA ESPECIE CENTINELA (*SICYDIUM ALTUM*), ADAPTADA DE HOLDEN Y RAITT, 1975).

FASE	ESTADO	ASPECTO GENERAL	FOTO
I	Inmaduro	Testículos muy pequeños, delgados y transparentes, situados cerca de la columna vertebral.	
II	Madurando/ recuperación	Testículos sin zonas blancas, presentan un borde posterior liso unido al mesenterio y un borde anterior acintado que forman repliegues en forma de "S".	
III	Maduro	Testículos desarrollados, abultados.	
IV	Hidratado/ Desovando	Testículos desarrollados de aspecto suave, cremoso.	
V	Regeneración/ Reversión	Testículos vacíos de gran tamaño, flácidos.	



3.5. Metodología estudio elementos hidromorfológicos y arraigo

En el presente programa se ha procedido a evaluar y analizar los aspectos relacionados con la calidad hidromorfológica y del hábitat fluvial de los ríos potencialmente afectados por las actividades de la mina y sitios de referencia, divididos en elementos propios del cauce y de aquellos característicos de las riberas de los ríos.

Para ello, se utilizaron dos índices adaptados a las aguas de Panamá que, a partir de la estimación visual de determinados rasgos fisonómicos y estructurales así como de su heterogeneidad, emiten un número entre 0 y 100 estimativo de la calidad del cauce (índice IHF-PAN) y de las riberas del río (índice QBR-PAN)⁵.

La predominancia de características indicativas de heterogeneidad, diversidad o inalterabilidad de estos ecosistemas se traduce en valores altos de sendos índices. Por el contrario, los ambientes alterados, homogéneos y simplificados en su estructura y diversidad, obtienen puntuaciones más bajas. Dichas evaluaciones quedaron reflejadas en las fichas de campo respectivas.

Por su parte, las mediciones de arraigo de la corriente se han realizado para brindar una evaluación de la erosión y de la condición relativa del hábitat en cuanto a presencia de sedimentos finos. Las secciones de los ríos que tienen un bajo contenido de sedimentos y/o las corrientes de gran velocidad generalmente tienen poco arraigo, mientras que las secciones que tienen un alto contenido de sedimentos y/o velocidades más bajas generalmente tienen un arraigo más alto. Los sustratos con alto arraigo brindan una baja calidad del hábitat para los macroinvertebrados y peces por la poca disponibilidad de espacios intersticiales.

Debido a la gran cantidad de vegetación y roca que serán movidos durante la construcción de la mina, existe la posibilidad de un aumento en la carga de sedimentos en las corrientes que lo reciben. El aumento en la carga de sedimentos ejercerá el mayor impacto en el hábitat de adoquín/grava (guijarro/cascajo) donde se llenan los espacios intersticiales. Las áreas con fondo lodoso o arenoso tienen menor riesgo de ser impactadas por el aumento en la carga de sedimentos.

Los valores de referencia de arraigo fueron establecidos en el año 2012 en tres de las cinco estaciones de macroinvertebrados bentónicos en los sitios de muestreo cercano y áreas de referencia. Para evitar subjetividad de las evaluaciones visuales de arraigo, se estableció una medición cuantitativa en el 2012.

⁵ Los índices se han desarrollado y adaptado a las aguas continentales de Panamá por EES INTERNATIONAL, SA y aplicado y validado en el Proyecto de Saneamiento de la Ciudad y Bahía de Panamá, bajo la supervisión de MiAmbiente y el Instituto Gorgas de Estudios de la Salud en el año 2015.



Este método se lleva a cabo de la siguiente manera:

Se inserta un tubo central de 18 cm de diámetro a 10 cm dentro del sustrato, que es la misma profundidad a la que se hace el muestreo de macroinvertebrados bentónicos. El fondo del núcleo está sellado y se elimina del río el sustrato. A continuación, el sustrato se lava a través de una serie de tamices que separan el sustrato en adoquín/grava (>4 mm) arena muy gruesa (1 a 4 mm), arena gruesa (500 μ m a 1 mm), arena mediana (250 μ m a 500 μ m) y arena fina (< 250 μ m). También se deben tomar fotografías del grado de arraigo en cada una de las áreas seleccionadas además de las coordenadas GPS.



Alteraciones puntuales por extracción de minería artesanal en la margen derecha del río Petaquilla en el Campamento Lata que han podido afectar al arraigo del sustrato (foto superior) y panorámica del sitio de monitoreo en el río San Juan de Turbe.



4. RESULTADOS

4.1. Elementos físico-químicos

4.1.1. Condiciones de los muestreos y medidas in situ

Los resultados de las medidas *in situ* de los parámetros y variables físico-químicas y resumen de las condiciones ambientales en las que se efectuaron los muestreos, se incluyen en el **Cuadro 4**.

Para el desarrollo del programa de monitoreo se ha completado en el año 2019 dos campañas de muestreo: la primera, en los ríos Caimito (dos sitios de monitoreo) y Hoja (un sitio de monitoreo) durante los días 21 y 22 de febrero; la segunda en el resto de sitios en los días 1 al 4 de mayo y al final de la estación seca. Durante este período, las condiciones atmosféricas fueron muy similares, con cielos nublados o muy nublados (80-100% nubes), y con presencia de lluvia y aguaceros y una temperatura ambiente en el rango de 28-31°C.

Los flujos estimados de agua para los ríos Rinconcito, Petaquilla, Botija y Del Medio fueron medios-bajos y propios de una época que se corresponde con el final de la estación seca, con caudales del orden de 1,0-2,0 m³/s. Destaca el moderado caudal de los ríos Caimito y San Juan de Turbe, con valores estimados de 30 y 50 m³/s respectivamente. En el caso del río San Juan de Turbe, se tuvo que esperar para poder realizar el monitoreo más de un día a que el caudal descendiera después de un fuerte aguacero.

Las medidas de parámetros físico-químicos del agua efectuadas con sonda multiparamétrica in situ, indica que las aguas de los ríos estudiados presentan moderada a alta concentración de oxígeno disuelto (81-98% de saturación), moderadas a bajas conductividades (40-254 µS/cm) y un pH ligeramente ácido o próximo al neutro (6,1-7,8 unidades pH). Por tanto, son aguas bien oxigenadas, pH ligeramente ácidos a neutros y de baja a moderada carga iónica.

Durante este año 2019 se ha apreciado en la mayoría de los ríos una menor carga de sólidos en suspensión, con aguas más limpias y ausencia de turbidez en los ríos en donde el año 2016 presentaban elevada turbiedad (por ejemplo, el río Hoja). Incluso en el río Petaquilla, que está asociado con actividades mineras ilegales en su cuenca, principalmente en su tramo más bajo (PML-Petaquilla), presenta bajas conductividades (40 µS/cm) y un agua clara (<5 NTU de turbidez). Por su parte, en el río Caimito la turbidez registrada ha estado asociada con condiciones naturales del río tras un período de lluvias y arrastres en su cuenca vertiente propio de la época del año.

Se destaca que en ningún río se incumplen los límites para temperatura (variaciones superiores a 3° de las condiciones naturales), pH (6,5-8,5 unidades pH), turbiedad (50-100 NTU), sólidos en suspensión (<50 mg/L) y oxígeno disuelto (6-7 mg/L) del Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.



CUADRO 4. CONDICIONES DE LOS MUESTREO Y MEDIDAS IN SITU DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

NOMBRE	FECHA DE MUESTREO	RIO	COND. MUESTREO	pH	TURBIEDAD (NTU)	T (°C)	COND. (µS/cm)	OD (mg/L)	OD (% SAT)	TDS (g/L)	COLOR AGUA
REF-Hoja	21/02/2019	Hoja	0% Nubes	7,8	<5	26,3	241,6	6,5	81,6	0,1573	Sin color
REF-Rinconcito	3/05/2019	Rinconcito	80% Nubes	6,2	<5	26,5	49,3	7,9	96,1	0,0325	Sin color
PMC-Caimito	21/02/2019	Rio del Medio-Uvero	70% Nubes	7,8	<5	27,0	254,5	6,5	82,3	0,1651	Sin color
PML-Caimito	22/02/2019	Caimito Segunda corriente	70% Nubes	7,7	6,2	26,3	134,8	6,9	86,2	0,0878	Marrón verdoso
PMC-Botija	3/05/2019	Botija. San Benito	90% Nubes	6,8	10,2	25,8	224,3	7,8	96,6	0,1456	Marrón
PML-Botija	2/05/2019	San Juan de Turbe	20% Nubes	6,2	6,1	26,4	87,1	7,9	97,5	0,0565	Ligera turbidez marrón
PMC-Petaquilla	2/05/2019	Petaquilla. Lata	100% Nubes	6,2	<5	24,6	40,4	8,1	98,3	0,0260	Sin color
PML-Petaquilla	2/05/2019	Petaquilla. Llano 01	70-80% Nubes	6,1	<5	25,2	40,0	7,7	93,7	0,0260	Sin color

NOTA. Se indica con un sombreado en verde que CUMPLE con el nivel de calidad establecido para el parámetro en el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.



4.1.2. Química del agua

En el **Anexo 2** se incluyen los Informes de Ensayo de los análisis de laboratorio realizados en agua. En el **Cuadro 5** se resumen los resultados de los análisis químicos en el agua.

CUADRO 5. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS EN AGUA										
CÓDIGO	RIO	DUREZA (mg/l CaCO ₃)	ALCAL. (mg/l CaCO ₃)	SS (mg/L)	NH ₄ (mg/L N)	NO ₃ (mg/L NO ₃)	N.Kjeld. (mg/L N)	PO ₄ (mg/L PO ₄)	P _{total} (mg/L)	COD (mg/L)
REF-Hoja	Hoja	30	25	<5	<0,01	0,8	0,22	0,10	0,18	6,3
REF-Rinconcito	Rinconcito	18	21	<5	0.10	1,6	0,65	0,15	0,20	6,5
PMC-Caimito	Del Medio	34	24	<5	0.02	1.6	0.41	0.24	0.21	5.4
PML-Caimito	Caimito	34	23	10.7	0.04	1.1	0.36	0.28	0.22	5.8
PMC-Botija	Botija	30	22	8,7	0,11	4,1	0,26	0,60	0,72	6,9
PML-Botija	San Juan de Turbe	32	24	<5	0,30	1,6	0,21	0,18	0,23	4,7
PMC-Petaquilla	Petaquilla	20	15	<5	0,10	1,1	0,04	0,05	0,10	2,5
PA-Petaquilla	Petaquilla	21	17	<5	0,11	0,9	0,08	0,06	0,11	2,8

NOTA. Se indica con un sombreado en verde que CUMPLE con el nivel de calidad establecido para el parámetro en el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.

Las aguas se caracterizan por su baja dureza y contenido en nutrientes, con escaso contenido en carbono orgánico disuelto (COD). Los sólidos en suspensión han sido bajos en todos los sitios, cumpliéndose con el límite de 50 mg/L que establece el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.

No se han encontrado diferencias significativas con otros monitoreos, solo aquellas relacionadas por aumentos puntuales de los sólidos y nutrientes debidos a arrastres naturales en episodios de fuertes lluvias, en los que las concentraciones de estos parámetros pueden superar los valores límites que se han tomado como referencia.

En los **Cuadros 6 y 7** se incluyen los resultados analíticos de metales pesados (disueltos y totales) en agua. Se destaca que todos los metales incluidos en el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008 en agua (arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo) cumplen con los límites de calidad. Para el cobre, y por su interés en este monitoreo, se han obtenido concentraciones por encima del valor de referencia de 0,01 mg/L en todos los sitios y, en particular, en los sitios de muestreo REF-Hoja, PMC-Caimito y PMC-Botija, que reciben las aguas de lavado de la mina. No se ha valorado, ya que se trata de un valor de referencia no legal.



CUADRO 6. RESULTADOS DE METALES PESADOS DISUELTOS EN AGUA (ug/L)

METAL PESADO DISUELTO EN AGUA	UNIDADES	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF- Hoja	REF- Rinconcito	PMC- Caimito	PML- Caimito	PMC- Botija	PML- Botija	PMC- Petaquilla	PML- Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan de Turbe	Petaquilla	Petaquilla
Aluminio	ug/L	260,0	124,4	270,0	149,0	210,1	170,4	98,5	68,3
Antimonio	ug/L	0,65	0,15	0,82	0,36	0,18	0,35	0,43	0,20
Arsénico	ug/L	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Bario	ug/L	40,1	20,2	35,7	29,6	16,8	19,5	16,7	18,3
Berilio	ug/L	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Boro	ug/L	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
Cadmio	ug/L	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,03	0,03
Cinc	ug/L	5,2	9,4	6,8	10,5	8,5	6,5	7,4	5,8
Cobalto	ug/L	0,70	0,89	0,60	0,35	0,44	0,30	0,25	0,27
Cobre	ug/L	10,2	0,50	20,3	15,6	0,89	3,5	7,6	4,8
Cromo	ug/L	<0,01	<0,01	6,2	5,4	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Hierro	ug/L	760,0	478,8	560,3	470,1	320,3	340,1	360,8	390,2
Manganeso	ug/L	49,2	23,5	82,1	60,3	69,6	37,3	44,5	32,6
Molibdeno	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Níquel	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Plata	ug/L	0,09	0,09	0,05	0,12	0,10	0,12	0,03	0,06
Plomo	ug/L	0,03	0,04	0,06	0,12	0,45	0,32	0,10	0,23
Selenio	ug/L	0,22	<0,1	0,35	0,40	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Vanadio	ug/L	3,1	2,4	1,2	1,6	3,4	0,6	0,7	0,6
Mercurio	ug/L	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3

NOTA. Se indica con un sombreado en verde que CUMPLE con el nivel de calidad establecido para el parámetro en el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.



CUADRO 7. RESULTADOS DE METALES PESADOS TOTALES EN AGUA (ug/L)

METAL PESADO TOTAL EN AGUA	UNIDADES	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF- Hoja	REF- Rinconcito	PMC- Caimito	PML- Caimito	PMC- Botija	PML- Botija	PMC- Petaquilla	PML- Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan de Turbe	Petaquilla	Petaquilla
Aluminio	ug/L	4,200	1,650,4	3,600	1,320	1,240,7	1,370,6	860,0	670,5
Antimonio	ug/L	20,2	4,9	10,6	7,8	2,3	2,6	0,70	0,75
Arsénico	ug/L	22,1	7,3	15,6	22,6	8,3	7,5	1,2	1,4
Bario	ug/L	46,5	30,1	80,2	47,9	67,4	102,5	78,3	80,9
Berilio	ug/L	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,06	0,07
Boro	ug/L	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
Cadmio	ug/L	0,1	0,12	0,1	0,1	0,22	0,17	0,15	0,19
Cinc	ug/L	49,7	32,1	35,8	22,4	35,4	43,6	44,7	57,6
Cobalto	ug/L	2,4	4,5	2,1	1,6	1,4	0,80	0,21	0,36
Cobre	ug/L	44,3	25,7	35,7	15,9	22,9	15,8	10,6	12,6
Cromo	ug/L	3,2	3,1	7,5	4,6	1,2	1,9	0,9	0,7
Hierro	ug/L	3100	710,3	2400	1800	970,9	1,240,7	890,4	910,2
Manganeso	ug/L	87,5	45,8	210,1	70,8	58,9	40,2	46,7	75,1
Molibdeno	ug/L	<1	<1	<1	<1	7,1	<1	<1	<1
Níquel	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Plata	ug/L	1,1	1,8	1,3	1,4	1,5	1,4	1,3	1,6
Plomo	ug/L	2,5	3,2	4,7	3,7	1,6	1,8	2,7	2,5
Selenio	ug/L	3,8	4,7	2,8	1,6	2,3	2,1	1,6	1,9
Vanadio	ug/L	7,8	1,8	6,9	4,2	3,9	6,9	1,1	1,3
Mercurio	ug/L	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3

NOTA. Se indica con un sombreado en verde que CUMPLE con el nivel de calidad establecido para el parámetro en el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.



4.1.3. Metales pesados en sedimentos

Para valorar el grado de contaminación de los sedimentos se ha empleado el protocolo del Consejo Canadiense de los Ministerios del Ambiente (CCME, 1995).

El protocolo canadiense contempla dos niveles de referencia (ver **Cuadro 8**): el límite de efectos bajos (LEB) y el límite de efectos altos (LEA), tanto para sedimentos de agua dulce como para sedimentos de agua marina.

En los dos casos, el primero expresa la concentración por debajo de la cual la probabilidad de toxicidad es menor del 20% y el segundo define el nivel por encima del cual la probabilidad de toxicidad es mayor del 50%.

CUADRO 8. PROTOCOLO DEL CONSEJO CANADIENSE DE LOS MINISTERIOS DEL AMBIENTE (CCME). SEDIMENTOS DE AGUA DULCE		
ELEMENTO	LÍMITES EFECTOS BAJOS (LEB)	LÍMITE EFECTOS ALTOS (LEA)
	mg/kg de suelo	
Arsénico	5,90	17
Cadmio	0,60	3,50
Cromo	37,3	90
Cobre	35,7	197
Plomo	35	91,3
Mercurio	0,17	0,486
Zinc	123	315

Por su parte, en el **Cuadro 9** y **Anexo 2** se recogen los análisis de metales pesados en sedimentos referido a materia seca (s.m.s.).

Teniendo en cuenta esta referencia, el cinc solo incumpliría para límites bajos en el río Petaquilla. Para el cobre se incumpliría para límites bajos (LEB) en todos los puntos, excepto en PMC-Botija, PMC-Petaquilla y PML-Petaquilla que también se incumpliría en límites efectos altos (LEA).

Para todos los sitios de muestreo, el resto de metales en sedimentos cumple con el límite de efectos bajos (LEB).



CUADRO 9. RESULTADOS DE METALES PESADOS TOTALES EN SEDIMENTOS (mg/Kg m.s.m.)

METAL PESADO EN SEDIMENTOS	UNIDADES	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF- Hoja	REF- Rinconcito	PMC- Caimito	PML- Caimito	PMC- Botija	PML- Botija	PMC- Petaquilla	PML- Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan de Turbe	Petaquilla	Petaquilla
Aluminio	mg/Kg	15.700	12.340,1	16.800	15.980	15.670,2	26.890,4	36.780,8	45.990,5
Antimonio	mg/Kg	0,22	0,30	0,10	0,10	0,25	0,26	0,32	0,35
Arsénico	mg/Kg	0,55	0,40	0,51	0,46	0,66	0,89	1,23	1,45
Bario	mg/Kg	30,7	60,7	23,5	15,8	55,7	80,5	91,3	98,9
Berilio	mg/Kg	0,10	0,20	0,14	0,20	0,34	0,56	0,71	0,79
Boro	mg/Kg	340,4	55,8	160,8	189,3	33,6	40,7	10,5	11,2
Cadmio	mg/Kg	0,04	0,15	0,03	0,03	0,18	0,21	0,33	0,31
Cinc	mg/Kg	50,1	42,1	55,7	40,7	80,6	75,7	120,6	128,6
Cobalto	mg/Kg	6,8	10,5	6,1	7,9	20,1	16,5	21,6	24,3
Cobre	mg/Kg	55,7	146,7	80,4	49,6	220,4	160,8	270,1	278,3
Cromo	mg/Kg	22,1	6,5	44,7	18,9	71,2	40,1	30,4	20,2
Hierro	mg/Kg	26.800	23.450,3	27.200	35.900	40.450,9	46.569,0	45.370,6	42.890,2
Manganeso	mg/Kg	1450	750,3	950	480	740,5	1,250,1	1,260,5	1,123,1
Molibdeno	mg/Kg	1,1	1,6	1,1	1,1	2,3	2,6	10,1	10,3
Níquel	mg/Kg	3,6	3,4	1,8	3,9	6,9	10,9	9,2	10,6
Plata	mg/Kg	0,20	0,40	0,42	0,34	0,36	0,48	0,20	0,21
Plomo	mg/Kg	1,4	3,8	1,9	2,2	5,7	9,3	10,7	12,8
Selenio	mg/Kg	25,9	25,9	35,8	20,6	20,1	22,3	24,8	21,4
Vanadio	mg/Kg	170,1	176,1	98,2	290,5	188,2	150,2	143,5	133,8
Mercurio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

NOTA. Se indica con un sombreado el grado de cumplimiento con la norma canadiense de referencia para contaminación de sedimentos. Verde: cumple; Crema: incumple límites efectos bajos; ROJO: incumple límites efectos altos.



4.1.4. Metales pesados en biota (peces y camarones)

Para valorar el grado de contaminación en peces, se han utilizado los siguientes valores de referencia incluidos en el memorandun interno de MINERA PANAMÁ, preparado por Meyer Eps, Inc (16 de febrero de 2017):

Country	Type	Arsenic (mg/Kg)	Cadmium (mg/Kg)	Copper (mg/Kg)	Lead (mg/Kg)	Mercury (mg/Kg)	Selenium (mg/Kg)	Zinc (mg/Kg)	Ref.
Australia-N. Zealand	Food Standard	1.0 – 2.0	2	--	0.5-2.0	0.5-1.5	--	--	1
Canada	Max. limit	3.5	--	--	0.5	0.5-1.0	--	--	2
USA (FDA)	Food Standard	--	--	--	--	1	--	--	3
USA (USEPA)	Fish tissue	0.46	1.5	62	--	--	7.7	460	4
European Union	Food Standard	--	0.05-1.0	--	0.3-1.5	0.5-1.0	--	--	5
WHO/FAO	Fish Standard	--	2	--	0.3	0.5 – 1.0	--	--	6
Hong Kong	Max. limit-fish	6-10	2	--	6	0.5	--	--	7
China	Max. limit-fish	0.1-0.5	0.1-2.0	--	0.5-2.0	0.5-1.0	--	--	8
Brazil	Food Standard	--	--	--	--	0.5	--	--	9
Chile	Food Standard	1	0.05	10	2	--	0.3	100	9
Denmark	Food Standard	--	--	--	--	0.5	--	--	9
Ecuador	Food Standard	1	--	10	5	1	--	--	9
Finland	Fish Standard	5	--	--	2	1	--	--	9
France	Seafood Standard	--	--	--	--	0.5 – 0.7	--	--	9
Germany	Fish Standard	--	0.5	--	0.5	1	--	--	9
Greece	Fish Standard	--	--	--	--	0.7	--	--	9
India	Fish Standard	1	--	10	5	0.5	--	50	9
Italy	Fish Standard	--	--	--	2	0.7	--	--	9
Japan	Food Standard	--	--	--	--	0.4	--	--	9
Netherlands	Seafood Standard	--	0.05 – 1.0	--	0.5 – 2.0	1	--	--	9
Philippines	Food Standard	3	--	--	0.5	0.5	--	--	9
Poland	Fish Standard	4	--	10-30	1.0 – 2.0	--	--	30 – 50	9
Spain	Fish Standard	--	--	--	--	0.5	--	--	9
Sweden	Fish Standard	--	--	--	1.0 – 2.0	1	--	--	9
Switzerland	Fish Standard	--	0.1	--	1	0.5	--	--	9
Thailand	Fish Standard	2	--	20	1	0.5	--	--	9
U.K.	Food Standard	1	--	20	2.0 – 10	--	--	50	9
Venezuela	Seafood Standard	0.1	0.1	10	2	0.5	--	--	9
Zambia	Fish Standard	3.5 -5.0	--	100	0.5 – 10	0.2 – 0.3	--	100	9
Range		0.1-10	0.05-2	10-100	0.3-10	0.2-1.5	0.3-7.7	30-460	

Note: Some of the values provided are standards, others are merely recommendations. Some are based on dry weight, while others are based on wet weight.

1 ANZFA (Australia New Zealand Food Authority). 2016. Food Standards Code: Standards 1.4.1-Contaminants and Natural Toxicants; values listed are for fish and shellfish in Schedule 19. As updated to March 1, 2016.

2 Health Canada. 2016. Canadian Standards (Maximum Levels) for Various Chemical Contaminants in Foods. <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/chem-chim/adulterating-substances-adulterantes-eng.php>; <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/chem-chim/contaminants-guidelines-directives-eng.php>

3 FDA (U.S. Food and Drug Administration). 2011. Fish and Fishery Products Hazards and Controls Guidance- 4th Edition. April.

4 United States Environmental Protection Agency (USEPA). 2019. Regional Screening Levels for Resident Fish. Calculated assuming 54 g/day consumption

5 European Union. 2008. Commission Regulation No. 1881/2006 and No. 629/2008 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs; values are listed for fish and shellfish

6 WHO/FAO. 2015. Codex Alimentarius International Food Standards. Food and Agriculture Org. of the United Nations and World Health Organization. Updated through 2015. (Hg as methylmercury)

7 Hong Kong. 2007. Public Health and Municipal Services Ordinance (Cap. 132), Part V- Food Alteration (Metallic Contaminants).

8 China. 2012. National Food Safety Standard- Maximum Levels of Contaminants in Food. GB2762-2012. Hg as methylmercury.

9 Nauen, C. 1983. Compilation of Legal Limits for Hazardous Substances in Fish and Fishery Products. Food and Agricultural Organization of the United Nation. Rome, October 1983.



En el **Cuadro 10** y **Anexo 2** se recogen los resultados de los análisis de metales pesados en guabinas (*Gobiomorus dormitor*) y titíes (*Sicydium altum*) referidos a materia seca (s.m.s.).

CUADRO 10. RESULTADOS DE METALES PESADOS TOTALES EN PECES (mg/Kg m.s.m.)									
METALES PESADOS EN PECES	UNIDADES (s.m.s.)	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF-Hoja	REF-Rinconcito	PMC-Caimito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan de Turbe	Petaquilla	Petaquilla
Aluminio	mg/Kg	60,2	55,4	70,1	33,1	40,2	80,9	82,6	33,1
Arsenico	mg/Kg	0,45	0,33	0,49	0,76	0,34	0,55	0,90	0,76
Bario	mg/Kg	20,1	31,8	10,2	40,8	20,7	5,8	10,1	40,8
Berilio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cadmio	mg/Kg	0,64	1,1	2,3	1,3	0,80	0,58	0,66	1,3
Cinc	mg/Kg	80,7	67,1	40,8	50,8	66,9	71,9	40,4	50,8
Cobalto	mg/Kg	0,34	0,34	0,12	0,24	0,56	0,69	0,30	0,24
Cobre	mg/Kg	2,3	5,9	3,1	2,1	4,7	5,9	5,6	2,1
Cromo	mg/Kg	0,55	0,80	0,30	0,21	0,67	0,90	1,2	0,21
Hierro	mg/Kg	90,5	45,9	60,8	23,6	32,7	30,4	43,8	23,6
Manganeso	mg/Kg	3,6	12,7	2,9	10,3	11,7	45,8	44,2	10,3
Molibdeno	mg/Kg	0,29	0,30	0,10	0,12	0,15	0,23	0,22	0,12
Niquel	mg/Kg	0,65	0,65	0,89	0,48	0,89	0,23	0,40	0,48
Plomo	mg/Kg	0,01	0,21	0,01	0,12	0,14	0,10	0,12	0,12
Selenio	mg/Kg	0,30	1,23	0,24	1,45	3,40	3,65	3,71	1,45
Vanadio	mg/Kg	0,40	0,34	0,10	0,47	0,56	0,78	0,29	0,47
Mercurio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Por comparación con los valores de referencia señalados, cabe destacar que el arsénico, cadmio, cinc y selenio (excepto en PMC-Caimito) se encuentran por encima del rango bajo de los valores de referencia, no alcanzando el rango alto de los mismos. Por su parte, el resto de metales presentan concentraciones por debajo del valor bajo de referencia.

Al no existir valores de referencia legales en Panamá, no se puede establecer el grado de cumplimiento legal para metales pesados en peces.



En el **Cuadro 11** y **Anexo 2** se recogen los resultados de los análisis de metales pesados en camarones (*Macrobrachium spp*) referidos a materia seca (s.m.s.).

CUADRO 11. RESULTADOS DE METALES PESADOS TOTALES EN CAMARONES (mg/Kg m.s.m.)									
METALES PESADOS EN CAMARONES (<i>Macrobrachium spp</i>)	UNIDADES (s.m.s.)	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF-Hoja	REF-Rinconcito	PMC-Caimito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan de Turbe	Petaquilla	Petaquilla
Aluminio	mg/Kg	150,2	148,3	345	270	180,1	430,4	450,9	460,7
Arsenico	mg/Kg	1,2	1,44	1,20	1,42	1,6	1,4	1,6	1,5
Bario	mg/Kg	330,6	350,6	190	360	250,7	180,9	232,5	240,8
Berilio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cadmio	mg/Kg	0,80	0,76	0,9	1,4	0,98	0,45	0,66	0,93
Cinc	mg/Kg	120,5	112,6	145,8	110,8	56,9	80,1	56,9	80,1
Cobalto	mg/Kg	1,67	1,46	1,4	1,3	0,90	0,55	0,62	0,76
Cobre	mg/Kg	210,9	240,1	250,8	220,4	230,5	110,4	212,5	230,5
Cromo	mg/Kg	1,20	1,16	0,96	0,88	0,49	0,90	0,89	0,12
Hierro	mg/Kg	650,9	540,1	430,5	390,6	870,2	428,5	870,9	810,8
Manganeso	mg/Kg	140,1	150,7	90,4	130,4	165,4	130,2	310,2	240,7
Molibdeno	mg/Kg	0,54	0,61	0,51	0,72	0,89	0,30	0,78	0,90
Niquel	mg/Kg	1,1	1,7	1,1	1,1	1,9	1,5	1,6	1,1
Plomo	mg/Kg	0,40	0,31	0,36	0,10	0,32	0,25	0,54	0,30
Selenio	mg/Kg	2,7	2,3	1,5	1,4	2,8	1,9	2,4	2,1
Vanadio	mg/Kg	1,9	1,7	1,2	1,2	3,6	1,1	1,6	1,5
Mercurio	mg/Kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Al igual que sucedió en otros muestreos (Ecometrix, 2012), las concentraciones de metales en camarones fueron notablemente mayores que las que se encontraron en los tejidos de los peces para ciertos metales. Se observa una gran variabilidad en los resultados, sin un claro modelo de comportamiento entre estaciones.

Panamá no cuenta con límites legales para este indicador, no se puede establecer un nivel de calidad objetivo para este parámetro. De todas formas, en el capítulo de estudio de tendencias se analiza la evolución de estos parámetros (tanto metales pesados en peces como en camarones) en los diferentes monitoreos realizados en el tiempo.



4.2. Elementos biológicos

4.2.1. Macroinvertebrados

A) Monitoreo de febrero 2019

En el **Cuadro 12** se muestra la relación de los taxones identificados y su densidad (indv/m²) en los tres sitios del monitoreo de febrero de 2019.

CUADRO 12. LISTADO Y DENSIDAD (indv/m ²) DE MACROINVERTEBRADOS. FEBRERO 2019			
FAMILIA	REF-Hoja	PMC -Caimito	PML-Caimito
Atydae	1	3	6
Baetidae	3	9	9
Chironomidae		6	5
Corydalidae	1	1	
Crambidae	1	1	1
Elmidae	2	2	5
Glossosomatidae			1
Gomphidae			1
Hidropsychidae	12	36	32
Leptohyphidae	1	5	
Leptophlebiidae	9	19	51
Lymnaeidae		2	
Megapodagrionidae		1	
Neritidae	4		
Palaemonidae	16	17	36
Perlidae	1	1	1
Philopotamidae	10	18	18
Planariidae			2
Platystictidae		1	
Polithoridae		1	
Psephenidae	2	2	2
Ptilodactylidae		1	
Simuliidae		1	1
Thiaridae	1	11	1
Veliidae			1
Hydracarina			2
Naucoridae			1
Erpobdellidae			2



En total se han encontrado 20 taxones que pertenecen a otras tantas familias, destacando por su representatividad y abundancia los taxones *Emilidae*, *Leptophlebiidae*, *Palaemonidae* (especialmente en la estación PML-Caimito) y *Thiaridae*. El grupo de los *Chironomidae* está bien representado, aunque con densidades moderadas a bajas.

La estación con densidades más bajas de macroinvertebrados han sido la del río Caimito lejano, aunque los otros tres ríos presentan valores altos.

En el **Cuadro 13** se recogen los diferentes índices de diversidad y equitabilidad. Destacan que los valores de diversidad son muy homogéneos entre estaciones, correspondiendo a los más elevados a la estación Caimito cercano o río Uvero (o Del Medio).

CUADRO 13. INDICES BASADOS EN LOS MACROINVERTEBRADOS. FEBRERO 2019			
ÍNDICES	REF-Hoja	PMC-Caimito	PML-Caimito
	Hoja	Del Medio	Caimito
Nº taxones (familias)	14	20	20
Abundancia (ind/m ²)	64	138	178
Dominancia (D)	0.1514	0.1345	0.1716
Simpson (1-D)	0.8486	0.8655	0.8284
Div. Shannon-Weaver (H)	2.15	2.336	2.122
Riqueza (e ^{H/S})	0.613	0.5172	0.4174
Div. Brillouin	1.879	2.137	1.967
Div. Menhinick	1.75	1.703	1.499
Div. Margalef	3.126	3.856	3.667
Equitabilidad (J)	0.8145	0.7799	0.7084
Fisher (alpha)	5.53	6.426	5.782
Berger-Parker	0.25	0.2609	0.2865
Chao-1	19	27	25.6



B) Monitoreo de mayo 2019

En el **Cuadro 14** se muestra la relación de los taxones identificados y su densidad (indv/m²) en los tres sitios del monitoreo de mayo de 2019.

CUADRO 14. LISTADO Y DENSIDAD (ind/m ²) DE MACROINVERTEBRADOS. MAYO 2019					
FAMILIAS	REF-Rinconcito	PMC- Petaquilla	PML- Petaquilla	PMC-Botija	PMC-Botija San Juan de Turbe
Atydae	0	0	1	0	0
Baetidae	2	0	0	0	0
Chironomidae	0	0	0	3	0
Coenagrionidae	0	13	6	2	3
Crambidae	0	0	1	0	0
Elmidae	30	15	1	12	10
Hidropsychidae	7	0	1	1	0
Libellulidae	2	6	2	6	0
Perlidae	2	0	1	1	0
Philopotamidae	23	2	2	4	2
Psephenidae	2	0	0	0	0
Simuliidae	3	0	0	0	0
Thiaridae	7	0	0	0	0
Hydracarina	0	2	0	0	1
Dytiscidae	2	1	0	0	0
Naucoridae	0	1	0	1	0
Tipulidae	0	0	0	1	0
Limnephilidae	2	3	0	0	0

En total se han encontrado 18 taxones que pertenecen a otras tantas familias, destacando por su representatividad y abundancia los taxones *Emilda* y *Philopotamidae*. El grupo de los *Chironomidae* está bien también representado en este monitoreo, aunque con densidades moderadas a bajas. Se destaca la baja densidad de organismos en el río San Juan de Turbe comparado con otros años, debido al fuerte arrastre que sufrieron las comunidades biológicas como consecuencia de las fuertes lluvias de días anteriores.

En el **Cuadro 15** se recogen los diferentes índices de diversidad y equitabilidad. Destacan que los valores de diversidad son muy homogéneos entre estaciones, correspondiendo a los más elevados a la estación de referencia en el río Rinconcito.

Asimismo, el valor en el río San Juan de Turbe se ha visto muy afectado por las crecidas del río acaecidas en días anteriores al monitoreo, que han ocasionado el arrastre y la alteración de las comunidades naturales de macroinvertebrados.



CUADRO 15. INDICES BASADOS EN LOS MACROINVERTEBRADOS. MAYO 2019

ÍNDICES	REF- Rinconcito	PMC- Petaquilla	PML- Petaquilla	PMC-Botija	PMC-Botija San Juan
	Rinconcito	Petaquilla	Petaquilla	Botija	San Juan de Turbe
Nº taxones (familias)	11	8	8	9	4
Abundancia (ind/m ²)	82	43	15	31	16
Dominancia (D)	0.232	0.2428	0.2178	0.2216	0.4453
Simpson (1-D)	0.768	0.7572	0.7822	0.7784	0.5547
Div. Shannon-Weaver (H)	1.809	1.65	1.807	1.795	1.041
Riqueza (e ^{H/S})	0.555	0.6508	0.7611	0.6691	0.7079
Div. Brillouin	1.624	1.426	1.329	1.479	0.8177
Div. Menhinick	1.215	1.22	2.066	1.616	1
Div. Margalef	2.269	1.861	2.585	2.33	1.082
Equitabilidad (J)	0.7544	0.7935	0.8687	0.8171	0.7508
Fisher (alpha)	3.418	2.895	6.966	4.257	1.712
Berger-Parker	0.3659	0.3488	0.4	0.3871	0.625
Chao-1	11	8.333	11.33	12	4

Los resultados indican, de forma general, que se pueden distinguir dos grupos de comunidades de macroinvertebrados. Por un lado, las comunidades de los ríos Petaquilla, Botija y Del Medio, con densidades y nº de taxones más bajos, más asociadas con el tipo de sustrato, muy pobre y con pocas condiciones de habitabilidad para el macrobentos, que con alteraciones de la calidad del agua u otro tipo de impacto ambiental.

Por otra parte, los sitios de referencia Hoja y Rinconcito, así como los tramos de ríos más grandes (San Juan de Turbe, aunque muy disminuido este año por las crecidas del río y Caimito lejano), con inclusión este año del Petaquilla lejano, con densidades y taxones más numerosos. No obstante, se aprecia claras disparidades entre los índices estructurales y la composición y densidad de taxones.

Se destaca que el establecimiento de condiciones de calidad de un medio sobre la base de cambios estructurales en las comunidades biológicas (a través de densidades o índices de diversidad) puede llevar a errores si no se tienen en cuenta todos los factores ambientales implicados.

Una alternativa a esta valoración, es la basada no solo en los aspectos estructurales, sino en la capacidad bioindicadora y sensibilidad de las especies biológicas a la contaminación en sus diferentes formas, mediante el establecimiento de índices de calidad.

PRINCIPALES TAXONES DE MACROINVERTEBRADOS

PLECOPTERA: Perlidae	TRICHOPTERA: Philopotamidae
	
EPHEMEROPTERA: Baetidae	COLEOPTERA: Psephenidae
	
TRICHOPTERA: Leptoceridae	DIPTERA: Simuliidae
	
HEMIPTERA: Belostomatidae	ODONATA: Libellulidae
	



4.2.2. Perifiton

En el **Anexo 4** se incluyen los Informes de Ensayo con los resultados de los análisis de perifiton para los monitoreos de febrero y mayo 2019.

A) Monitoreo de febrero 2019

Si se toma el conjunto de organismos en las muestras del monitoreo de febrero de 2019, tres (3) divisiones fueron identificadas: Bacillariophyta, Charophyta y Cyanophyta, siendo la primera la más conspicua. Once (11) familias fueron reconocidas, predominando también la división Bacillariophyta con siete (7). No obstante, el género *Planktothrix* (Cyanophyta) es el más representativo con tres especies diferentes.

División	Familia	Especies
Bacillariophyta	Bacillariaceae	<i>Nitzschia spp</i>
	Catenulaceae	<i>Amphora sp 1</i>
	Coscinodiscaceae	<i>Coscinodiscus spp</i>
	Eunotiaceae	<i>Eunotia spp</i>
	Fragilariaceae	<i>Fragilaria crotonensis</i>
		<i>Synedra goulardii</i>
		<i>Synedra sp 1</i>
	Skeletonemataceae	<i>Skeletonema spp</i>
		<i>Cyclotella spp</i>
	Tabellariaceae	<i>Meridion spp</i>
Charophyta	Zygnemataceae	<i>Spirogyra spp</i>
Cyanophyta	Homoeotrichaceae	<i>Homoeothrix spp</i>
	Microcoleaceae	<i>Planktothrix cf. compresa</i>
		<i>Planktothrix sp1</i>
		<i>Gloecapsa sp 1</i>
	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya spp</i>
		<i>Oscillatoria spp</i>

La muestra de Caimito y río Hoja, presentan la mayor riqueza con 14 y 12 especies, respectivamente. La especie con mayor distribución fue la *Cyanophyta Lyngbya spp.* (Oscillatoriaceae) representada en todas las estaciones analizadas. Otras dos especies pertenecientes a la misma división *Homoeothrix spp* (Homoeotrichaceae) y *Gloecapsa sp. 1* (Microleaceae), presentan una distribución interesante al ser encontradas en todos los sitios muestreados. *Fragilaria crotonensis* (Bacillariophyta, Fragilariaceae) se presenta también una amplia distribución en los ríos.



En el **Cuadro 16** se recogen los diferentes índices de diversidad y equitabilidad, así como número de taxones y válvas de diatomeas o número de individuos. Por su parte, en el **Anexo 2** se recoge el informe de ensayo con los resultados del análisis de diatomeas bentónicas.

CUADRO 16. INDICES ESTRUCTURALES BASADOS EN EL PERIFITON. FEBRERO 2019			
ÍNDICES	REF-Hoja	PMC-Caimito	PML-Caimito
	Hoja	Del Medio	Caimito
Taxa_S	12	9	14
Individuals	40	42	45
Dominance_D	0.1312	0.2789	0.124
Simpson_1-D	0.8688	0.7211	0.876
Shannon_H	2.226	1.663	2.315
Evenness_e^H/S	0.7716	0.5862	0.7233
Brillouin	1.868	1.413	1.949
Menhinick	1.897	1.389	2.087
Margalef	2.982	2.14	3.415
Equitability_J	0.8957	0.7569	0.8773
Fisher_alpha	5.812	3.514	6.967
Berger-Parker	0.25	0.4762	0.2222
Chao-1	14	9.2	19
Clorofila "a" (mg/m ²)	1,7	2,9	2,8

Las muestras obtenidas indican una riqueza de 9-14 taxones, con un rango de 40-45 organismos observados, con una diversidad media en las estaciones Caimito y río Hoja, con 1,6-2,3 y 2,2 bits, respectivamente, según la función de Shannon. Estas dos estaciones también presentan la mayor equidad y dominancia según Simpson.

Como es natural, no parece haber una relación clara entre el contenido en Clorofila "a" y la densidad, debido al diferente contenido de este pigmento en las células analizadas y variable en función de cada especie. Se han registrado los mayores valores en los sitios del río Caimito, con valores propios de aguas con media productividad algal. El río Hoja presenta los valores más bajos de biomasa, propio de un río oligotrófico y con sustratos poco apropiados para la implantación de diatomeas.



B) Monitoreo de mayo 2019

En la tabla adjunta se muestran las divisiones y grupos de diatomeas bentónicas registradas en el monitoreo de mayo de 2019. Se han identificado tres (3) divisiones: Bacillariophyta, Charophyta y Cyanophyta, siendo la primera la más conspicua. Once (10) familias fueron reconocidas, predominando también la división Bacillariophyta con siete (7). No obstante, el género *Planktothrix* (Cyanophyta) es el más representativo con tres especies diferentes.

División	Familia	Especies
Bacillariophyta	Bacillariaceae	<i>Nitzschia spp</i>
	Catenulaceae	<i>Amphora sp 1</i>
	Coscinodiscaceae	<i>Coscinodiscus spp</i>
	Eunotiaceae	<i>Eunotia spp</i>
	Fragilariaceae	<i>Fragilaria crotonensis</i>
		<i>Synedra gouldii</i>
		<i>Synedra sp 1</i>
Charophyta	Skeletonemataceae	<i>Skeletonema spp</i>
		<i>Cyclotella spp</i>
	Zygnemataceae	<i>Spirogyra spp</i>
Cyanophyta	Homoeotrichaceae	<i>Homoeothrix spp</i>
	Microcoleaceae	<i>Planktothrix cf. compresa</i>
		<i>Planktothrix sp1</i>
		<i>Gloecapsa sp 1</i>
	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya spp</i>
		<i>Oscillatoria spp</i>

La muestra de Petaquilla y Rinconcito, presentan la mayor riqueza con 13 especies, respectivamente. La especie con mayor distribución fue *Fragilaria crotonensis*, una diatomea representada en todas las estaciones analizadas. Otras dos especies pertenecientes a la misma división *Homoeothrix spp* (Homoeotrichaceae) y *Gloecapsa sp. 1* (Microleaceae), presentan una distribución interesante al ser encontradas en gran parte de los sitios muestreados.

En el **Cuadro 17** se recogen los diferentes índices de diversidad y equitabilidad, así como número de taxones y válvas de diatomeas o número de individuos. Por su parte, en el **Anexo 2** se recoge el informe de ensayo con los resultados del análisis de diatomeas bentónicas.



CUADRO 17. INDICES BASADOS EN LAS DIATOMEAS BENTÓNICAS. FEBRERO 2019

ÍNDICES	REF- Rinconcito	PMC- Petaquilla	PML- Petaquilla	PMC-Botija	PMC-Botija San Juan de Turbe
	Rinconcito	Petaquilla	Petaquilla	Botija	San Juan de Turbe
Nº taxones (familias)	13	12	13	5	10
Abundancia (ind/m ²)	27	30	35	16	31
Dominancia (D)	0.1111	0.1667	0.1233	0.4297	0.2778
Simpson (1-D)	0.8889	0.8333	0.8767	0.5703	0.7222
Div. Shannon-Weaver (H)	2.362	2.134	2.303	1.16	1.73
Riqueza (e ^{H/S})	0.8166	0.7043	0.7698	0.6381	0.564
Div. Brillouin	1.861	1.71	1.886	0.8863	1.398
Div. Menhinick	2.502	2.191	2.197	1.25	1.796
Div. Margalef	3.641	3.234	3.375	1.443	2.621
Equitabilidad (J)	0.921	0.8589	0.898	0.7209	0.7513
Fisher (alpha)	9.857	7.413	7.49	2.497	5.117
Berger-Parker	0.1852	0.3333	0.2286	0.625	0.4839
Chao-1	20	13.67	15	5.333	12.5
Clorofila "a"	1,1	1,5	1,3	2,1	2,2

Las abundancias registradas son similares a las obtenidas en los monitoreos de febrero de 2019, aunque con diversidades de tipo alfa que varían entre 1,16 bits (Botija) a 2,36 bits (Rinconcito).

Los valores de clorofila "a" han sido también similares a otras campañas, de orden media a baja teniendo en cuenta que son aguas muy limpias y sin elevados contenidos en nutrientes.

PRINCIPALES TAXONES DEL PERIFITON

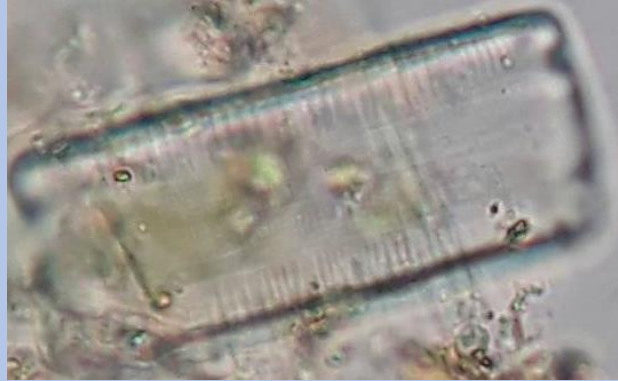


Figura 1. *Eunotia* spp

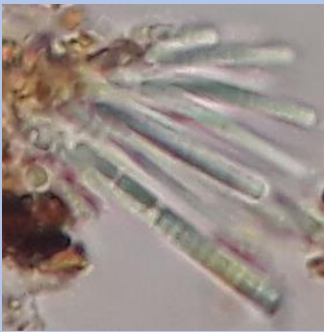


Figura 2. *Homoeothrix* spp



Figura 3. *Fragilaria crotonensis*

Figura 4. *Synedra goulardii*

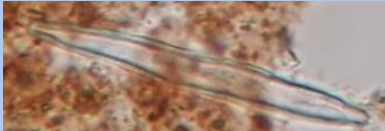


Figura 5. *Meridion* spp



Figura 6. *Lyngbia* spp



Figura 7. *Planktothrix* sp1

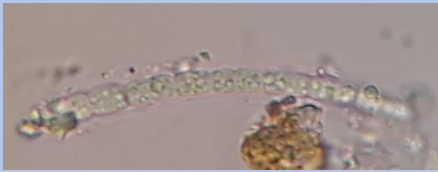


Figura 8. *Planktothrix* cf. *Compresa*



Figura 9. *Amphora* sp 1



Figura 10. *Gloeocapsa* sp 1



Figura 11. *Nitzschia* spp

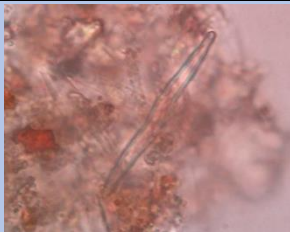


Figura 12. *Synedra* sp 1



Figura 13. *Fragilaria* sp 1

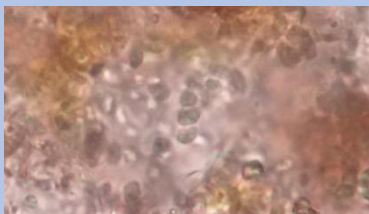


Figura 14. *Gloeocapsa* sp 2



Figura 15. *Amphora* sp 2

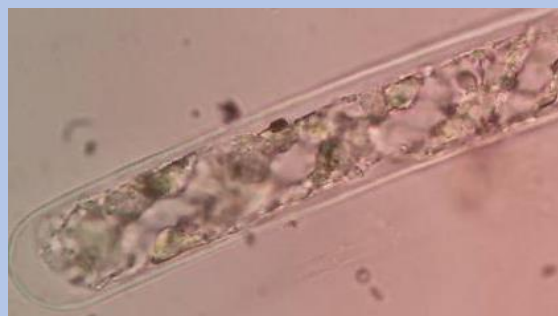


Figura 16. *Spirogyra* spp



4.2.3. Peces

A) Resultados del monitoreo de febrero 2019

En el **Cuadro 18** se recogen los resultados de los muestreos de peces y en el **Anexo 5** un reportaje fotográfico de las especies capturadas.

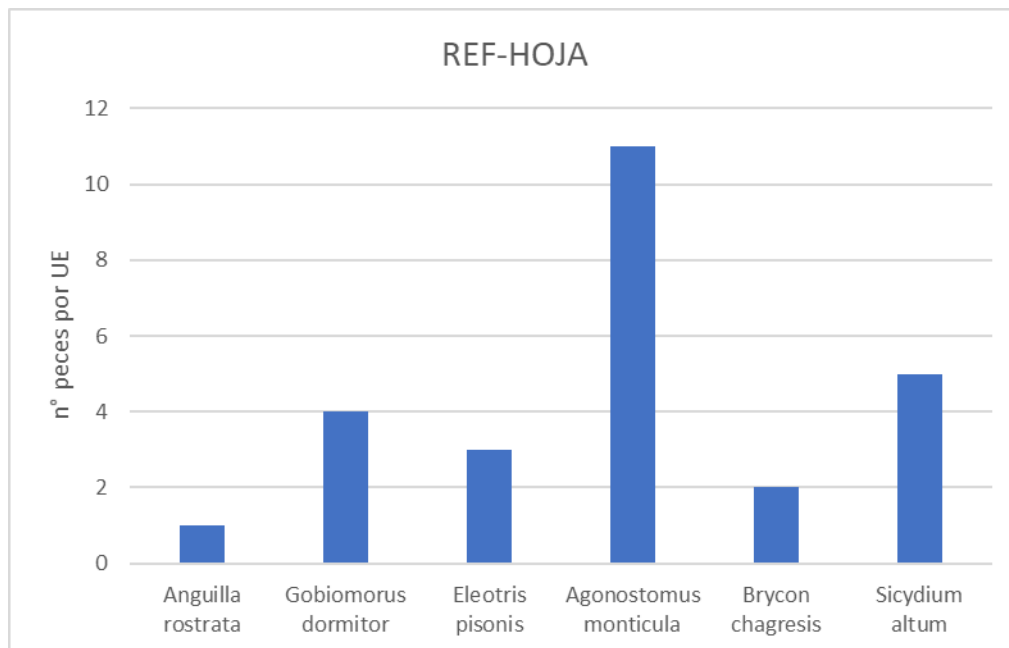
CUADRO 18. RESULTADOS DE LOS MUESTREOS DE PECES				
NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	PMC Caimito	PML Caimito	Ref Hoja
		Del Medio o Uvero	Caimito	Hoja
<i>Agonostomus monticola</i> (Bancroft, 1834)	Lisa de río	12	21	11
<i>Anguilla rostrata</i> (Lesueur, 1817)	Anguila		1	1
<i>Astyanax aeneus</i> (Günther, 1860)	Sardina		1	
<i>Awaous banana</i> (Valenciennes, 1837)	Arenero		1	
<i>Brachyrhaphis cascajalensis</i> (Meek & Hildebrand, 1913)	Chompipe	1		
<i>Brycon chagrensis</i> (Kner, 1863)	Sábalo			2
<i>Centropomus undecimalis</i> (Bloch, 1792)	Robalo		3	
<i>Eleotris pisonis</i> (Gmelin, 1789)	Guapote		7	3
<i>Gobiomorus dormitor</i> (Lacepède, 1800)	Guabina	4	17	4
<i>Hyphessobrycon panamensis</i> (Durbin, 1908)	Sardina		5	
<i>Pomadasys crocro</i> (Cuvier, 1830)	Ronco		8	
<i>Sicydium altum</i> (Meek, 1907)	Titi	9	31	5



Se colectaron un total de 147 peces, representados por 12 taxones a nivel de especie. Por estaciones de monitoreo, cabe señalar lo siguiente:

REF-HOJA

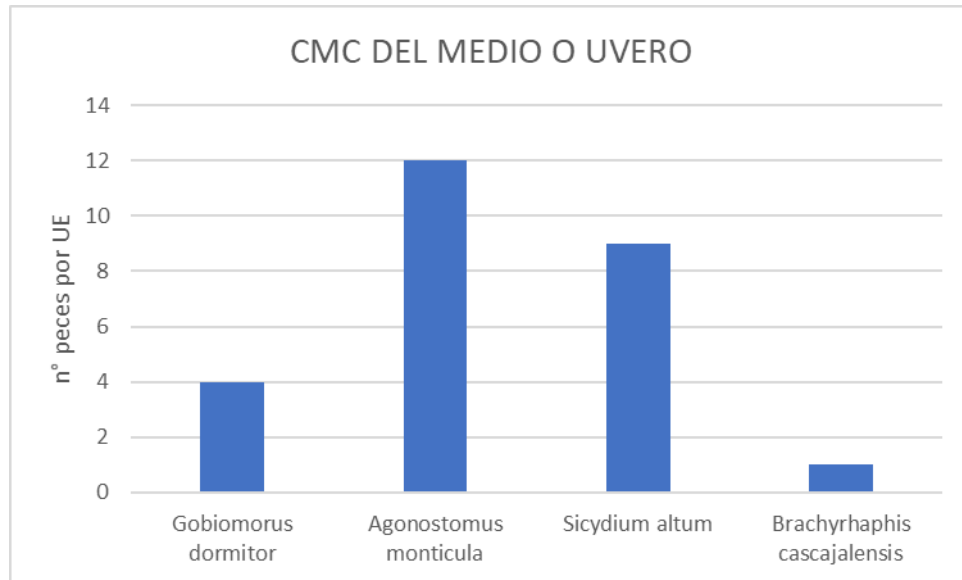
La principal especie muestreada -de las 6 especies registradas- fue la lisa de río (*Agonostomus monticula*), que representa un total de 42,3% de las capturas. Le siguen en importancia el tití (*Sicydium altum*), con un 19,2% y la guabina (*Gobiomorus dormitor*) con un 15,3% de las capturas. El resto de especies se mantuvieron por debajo del 15%, con presencias poco significativas (como la *Anguilla rostrata*)



Distribución de especies de peces en el río Hoja

CMC-RIO DEL MEDIO

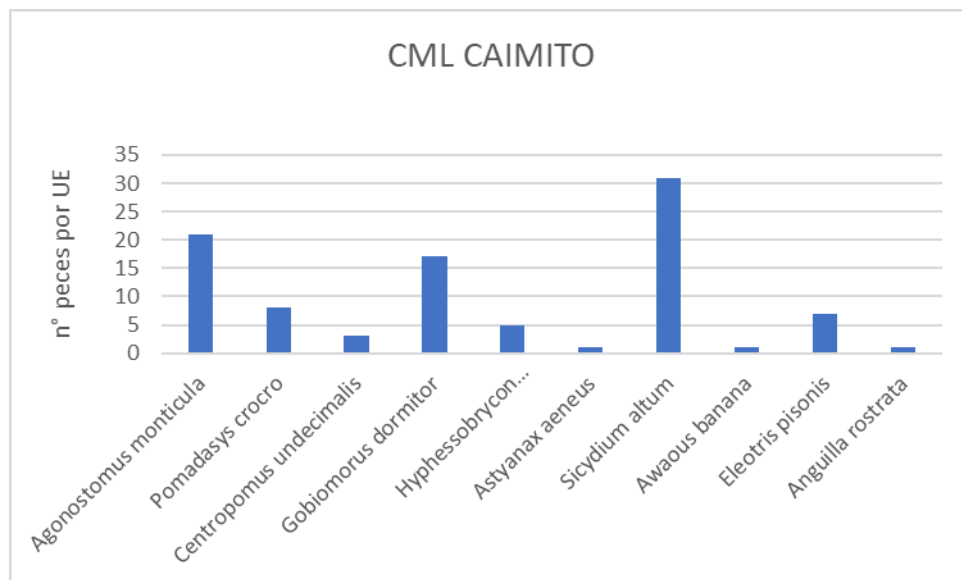
En este río se registraron 4 especies, siendo la principal la lisa de río (*Agonostomus monticula*), que representa un total de 46,1% de las capturas. Le siguen en importancia el tití (*Sicydium altum*), con un 34,6% y la guabina (*Gobiomorus dormitor*) con un 15,3% de las capturas. Cabe señalar que en este río se ha capturado un ejemplar de chompipe (*Brachyrhaphis cascajalensis*).



Distribución de especies de peces en el rio Del Medio o Uvero

CML-CAIMITO

El río Caimito en la zona conocida como “segundo rápido” presenta una elevada diversidad de especies, debido a que se trata de un río de tamaño medio y elevada capacidad biótica, además de ser hábitat preferente de especies migradoras marinas. Se han registrado 10 especies de peces. Destacan por su presencia el tití (*Sicydium altum*), con un 32,6%, la lisa de río (*Agonostomus monticula*), con un 22,1% y la guabina (*Gobiomorus dormitor*) con un 17,8% de las capturas.



Distribución de especies de peces en el rio Caimito en “segundo rápido”



Cabe señalar, de las especies mencionadas anteriormente, *Agonostomus monticola*, *Sicydium altum* y *Gobiomorus dormitor* presentaron la mayor distribución durante las jornadas de muestreos, capturándose en las tres estaciones de monitoreo. Las capturas por unidad de esfuerzo (CPUE), fueron similares en Ref Hoja y CMC Del Medio, con 26 ejemplares/UE, siendo las mayores capturas en el río Caimito (95 ejemplares/UE).

B) Resultados del monitoreo de mayo 2019

En el **Cuadro 19** se recogen los resultados de los muestreos de peces completado en el monitoreo de mayo de 2019.

CUADRO 19. RESULTADOS DE LOS MUESTREOS DE PECES						
NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	REF- Rinconcito	PMC- Petaquilla	PML- Petaquilla	PMC- Botija	PMC-Botija San Juan de Turbe
		Rinconcito	Petaquilla	Petaquilla	Botija	San Juan de Turbe
<i>Agonostomus monticola</i> (Bancroft, 1834)	Lisa de río	1	1	5	6	7
<i>Andinoacara coeruleopunctatus</i> (Kner, 1863)	Chogorro	16	3	1	12	4
<i>Anguilla rostrata</i> (Lesueur, 1817)	Anguila		2	2	1	1
<i>Astyanax aeneus</i> (Günther, 1860)	Sardina	18	1		1	
<i>Awaous banana</i> (Valenciennes, 1837)	Arenero				2	
<i>Brachyrhaphis cascajalensis</i> (Meek & Hildebrand, 1913)	Chompipe	23	2	8	9	
<i>Brycon chagrensis</i> (Kner, 1863)	Sábalo				1	1
<i>Brycon petrosus</i> (Meek & Hildebrand, 1913)	Sábalo		1			
<i>Eleotris pisonis</i> (Gmelin, 1789)	Guapote	1		1		
<i>Gephyrocharax intermedius</i>	Sardina			1	1	
<i>Hoplias microlepis</i>	Pegeperro				2	
<i>Jotorus pichardi</i> (Poey, 1860)	Bocachica	1			2	

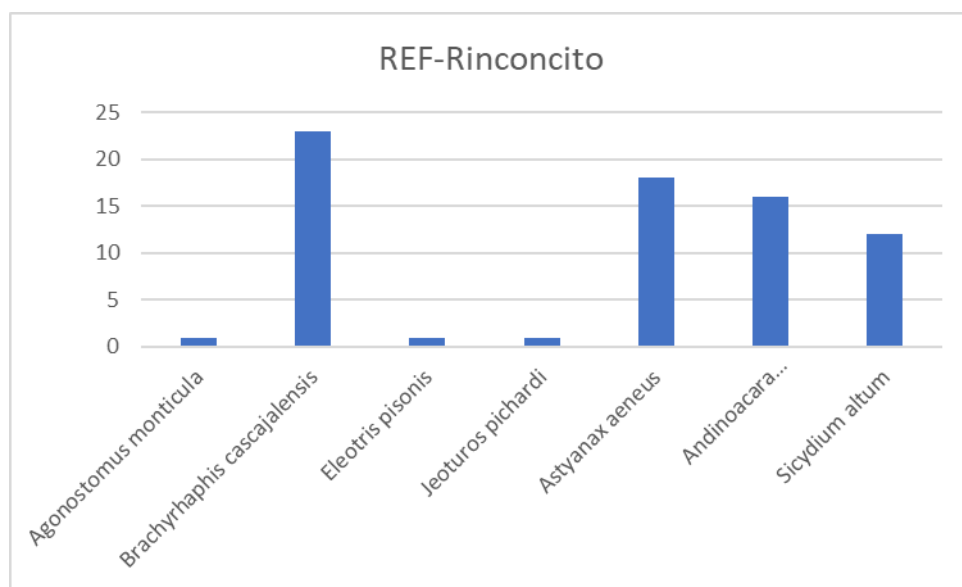


CUADRO 19. RESULTADOS DE LOS MUESTREOS DE PECES

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	REF-Rinconcito	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla	PMC-Botija	PMC-Botija San Juan de Turbe
		Rinconcito	Petaquilla	Petaquilla	Botija	San Juan de Turbe
<i>Sicydium altum</i> (Meek, 1907)	Titi	12	2	2	39	12
<i>Trichomycterus striatus</i> (Meek & Hildebrand, 1913)	Ciega					2

REF-RINCONCITO

La principal especie muestreada -de las 7 especies registradas- fue el chompipe (*Brachyrhaphis cascajalensis*), que representa un total de 31,9% de las capturas. Le siguen en importancia la sardina con un 25% (*Astyanax aeneus*), chogorro con un 22% (*Andinoacara coeruleopunctatus*) y el tití (*Sicydium altum*) con un 16,6%. El resto de especies se mantuvieron por debajo del 2%

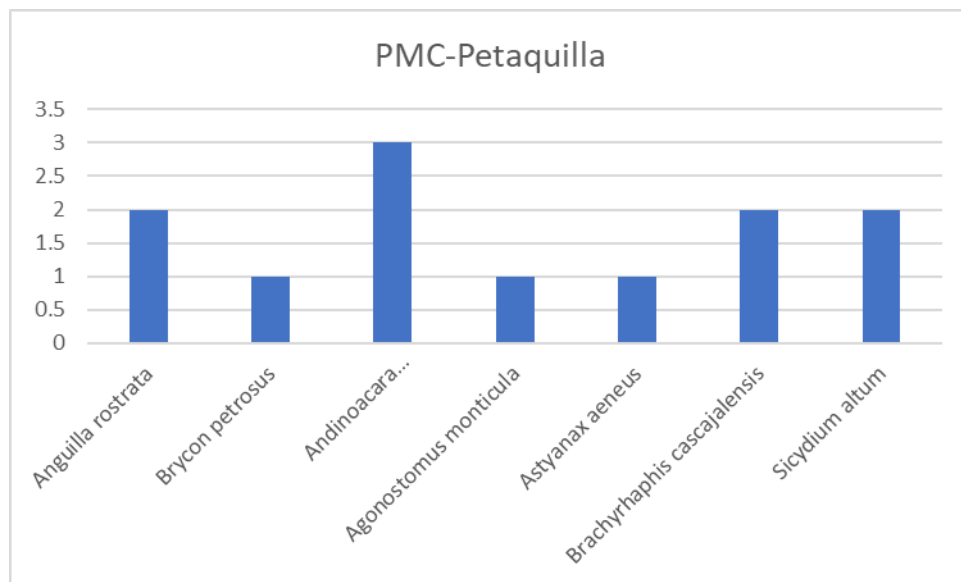


Distribución de especies de peces en el río Rinconcito



PMC-PETAQUILLA

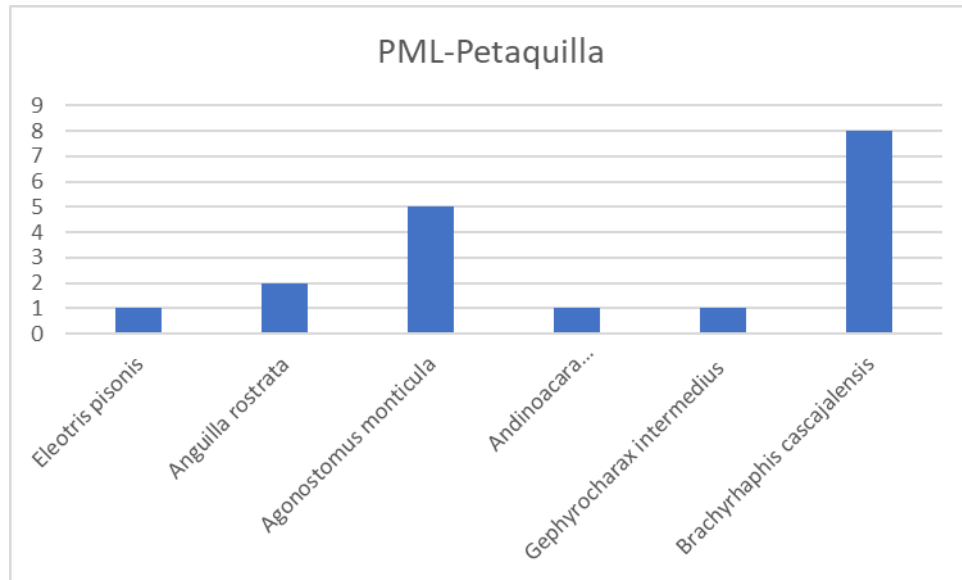
El río Petaquilla en la zona conocida como Campamento Lata presenta una moderada diversidad de especies, debido a que se trata de un río de tamaño medio y elevada capacidad biológica. Se han registrado 7 especies de peces, con porcentajes muy similares. Destacan por su presencia el chogorro con un 25% (*Andinoacara coeruleopunctatus*), seguido del resto de especies con porcentajes entre el 8-16%. Se destaca la presencia de la anguila (*Anguilla rostrata*), especie migradora que remonta este río desde el Caribe.



Distribución de especies de peces en el río Petaquilla cercano o campamento Lata.

PML-PETAQUILLA

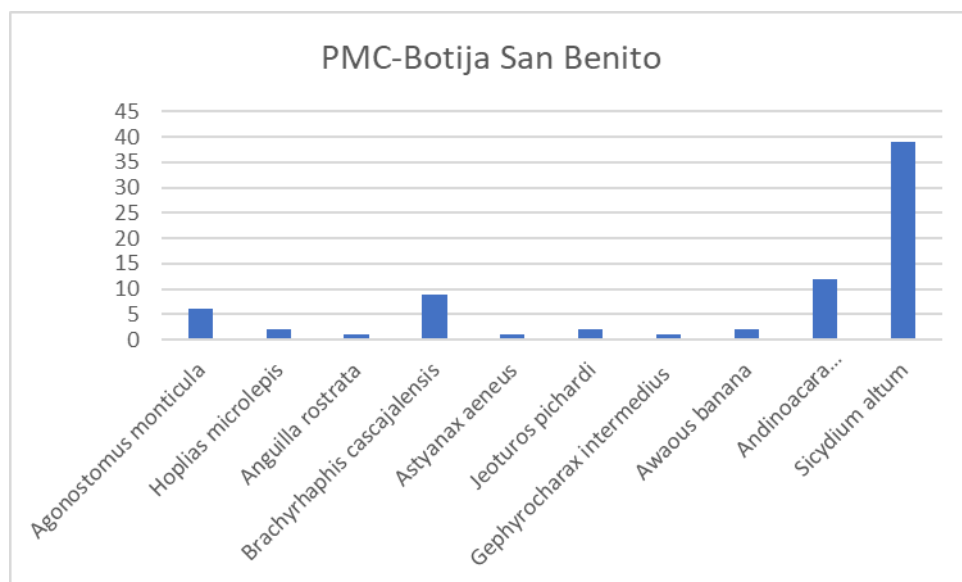
En este río se registraron 6 especies, siendo la principal el chompipe (*Brachyrhaphis cascajalensis*) que representa un total de 44,4% de las capturas y le sigue en importancia la lisa de río (*Agonostomus monticola*). El resto de especies presentan bajas densidades, con una representatividad de 5,5% de las capturas totales.



Distribución de especies de peces en el río Petaquilla lejano.

PMC-BOTIJA

En el río Botija en San Benito se ha registrado el mayor número de taxones (10 especies de peces), siendo el titi (*Sicydium altum*) el más numeroso (52% de las capturas totales). Aparecen representado una alta variedad de especies, aunque con porcentajes pequeños del orden del 1-2%. Se destaca también la presencia de chogorro (*Andinoacara coeruleopunctatus*), con un 16% de las capturas y chompipe (*Brachyrhaphis cascajalensis*) que representa un total de 12% de las capturas.

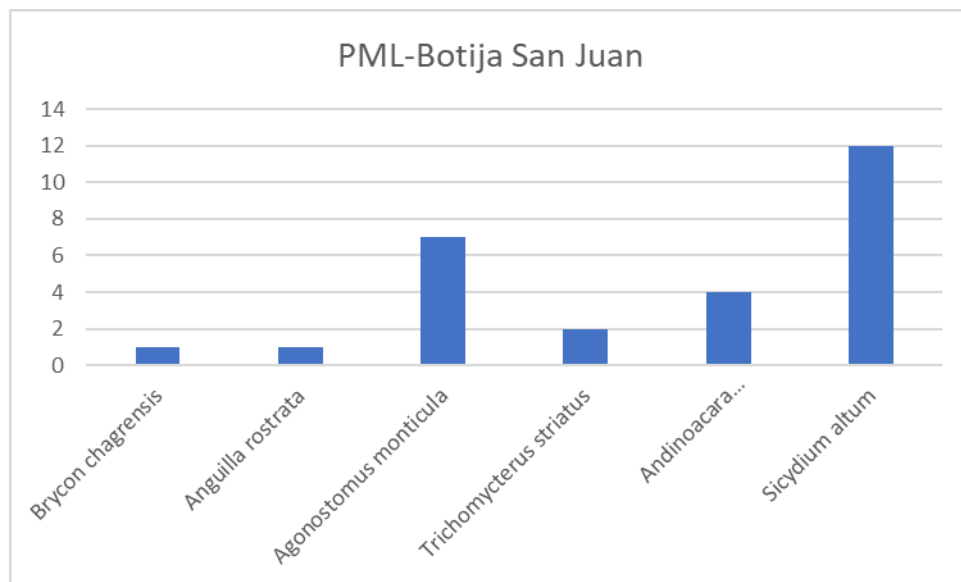


Distribución de especies de peces en el río Botija en San Benito.



PML-BOTIJA SAN JUAN DE TURBE

Tal y como se comentó en apartados anteriores, el río San Juan de Turbe presentó una fuerte crecida días anteriores a la realización de los monitoreos, por lo que la densidad de peces y otros organismos acuáticos (macroinvertebrados) se ha visto afectada. De esta forma, en el monitoreo completado este año se registraron 6 especies de peces, siendo la más abundante el tití (*Sicydium altum*) con un 44,4% de capturas, seguido de la lisa de río (*Agonostomus monticola*), con un 25,9%.



Distribución de especies de peces en el río San Juan de Tulme.



Crecida del río San Juan de Turbe en días previos a la realización de los monitoreos de mayo 2019.



C) Análisis estructural y descripción de las comunidades de peces

En el **Cuadro 20** se recogen los diferentes índices estructurales de las comunidades de peces para las dos campañas de monitoreo.

CUADRO 20. INDICES ESTRUCTURALES BASADOS EN LOS PECES								
ÍNDICES	REF- Hoja	REF- Rinconcito	PMC- Caimito	PML- Caimito	PMC- Botija	PML- Botija	PMC- Petaquilla	PML- Petaquilla
	Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Taxa_S	6	7	4	10	11	6	7	6
Individuals	26	72	26	95	76	27	12	18
Dominance_D	0.2604	0.2423	0.358	0.204	0.3113	0.2949	0.1667	0.2963
Simpson_1-D	0.7396	0.7577	0.642	0.796	0.6887	0.7051	0.8333	0.7037
Shannon_H	1.541	1.522	1.137	1.815	1.602	1.43	1.864	1.442
Evenness_e^H/S	0.778	0.6546	0.7796	0.6144	0.4512	0.6966	0.9211	0.7049
Brillouin	1.281	1.393	0.9729	1.665	1.423	1.192	1.343	1.128
Menhinick	1.177	0.825	0.7845	1.026	1.262	1.155	2.021	1.414
Margalef	1.535	1.403	0.9208	1.976	2.309	1.517	2.415	1.73
Equitability_J	0.8599	0.7822	0.8204	0.7884	0.6681	0.7982	0.9577	0.8048
Fisher_alpha	2.445	1.917	1.32	2.82	3.532	2.392	7.028	3.152
Berger-Parker	0.4231	0.3194	0.4615	0.3263	0.5132	0.4444	0.25	0.4444
Chao-1	6	10	4	13	12.5	6.5	7.75	7.5

Se han registrado un número variable de taxones, con un máximo de 11 en el río Botija en San Benito y un mínimo de 4 en el río del Medio. Las densidades también han sido muy variables, con máximos en el río Caimito y un mínimo en el Petaquilla. En consonancia, las diversidades han variado de 1,13 bits en el río Del Medio a 1,86 bits en Petaquilla.

Al igual que otros años, las especies registradas durante los monitoreos forman parte de la fauna característica de los ríos y quebradas de la zona, donde factores tales como la altitud, tipología del río y la temperatura del agua condicionan su presencia. En general, siguen el patrón normal de distribución de las especies en los ríos subtropicales, es decir, a medida que se sube por el río se espera encontrar una baja diversidad de estas.

La diferencia que existe entre la presencia de una especie entre un sitio y otro, va a depender de las condiciones que presenta el cuerpo de agua para cada una. Algunas especies requieren hábitats específicos para reproducirse y otras para establecerse. Los sistemas acuáticos, son vulnerables a los cambios ambientales y antrópicos de la zona. Los organismos que viven en el río, en especial los peces, sufren esas alteraciones, en busca de nuevas fuentes de alimento, lugares de reproducción, refugio y condiciones óptimas para su desarrollo.



D) Estado gonadal de las especies

Con las tallas registradas para los peces por especie, se pudo establecer el estado en que se encuentra cada individuo y así determinar la distribución de las poblaciones. Los resultados muestran que al comparar las tallas, la mayor parte de los individuos capturados son juveniles.

Las biomazas totales más altas se registraron en el río Botija, con la mayor densidad y tamaño de especies.

En resumen, las observaciones del estado gonadal de los peces colectados, relacionados con su peso y tallas, nos indican el estado de salud de estos organismos. Relacionado con esto, observamos la presencia de las especies centinelas, *Gobiomorus dormitor* en sus diferentes estadios (juveniles, adultos y hembras grávidas), pero principalmente, juveniles de *Sicydium altum*.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos durante el monitoreo de peces del presente año, es importante mencionar que se mantiene la presencia de las cuatro especies consideradas de interés en la línea base (EIA, 2010); *Gobiomorus dormitor* (guabina), *Agonostomus monticola* (lisa de río) y *Sicydium altum* (chupapiedra). No se ha registrado en este monitoreo *Brycon chagrensis* (sábalo pipón).

Es importante señalar, que el registro de las especies no solo depende de las variables ambientales y condición del ambiente de cada sitio. También en algunas ocasiones, influyen las técnicas de muestreo utilizadas, ya que algunas son más eficientes que otras y se puede registrar una mayor variabilidad de especies.

En el estudio se han relacionado las tallas encontradas con las medidas registradas para los peces adultos por especie, con la finalidad de establecer el estadio en que se encuentra cada individuo y poder determinar la distribución de las poblaciones. Los resultados muestran que al comparar las tallas registradas por especies, la mayor parte de los individuos capturados se encuentran dentro del estadio de juveniles.

Se procedió a la captura de una cantidad suficiente de títes adultos machos y hembras (sobre 15-20 individuos) para completar una evaluación estadística de métricas de salud relativas al crecimiento, el almacenamiento de energía y la reproducción.

Los puntos terminales de los efectos principales que se utilizan para determinar los efectos relacionados con la minería son la edad, condición (o sea, el peso en cualquier longitud), el peso del hígado (ajustado según el peso corporal) y el peso gonadal (ajustado según el peso corporal). Este último es tal vez la métrica más importante, ya que los cambios negativos en la inversión reproductiva de los peces pueden resultar en efectos a nivel de la comunidad.

También hay una cantidad de métricas de apoyo que puede compararse, tales como la fecundidad (o sea, la cantidad de huevos por hembra) y el peso individual de los huevos. En el **Cuadro 21** se resumen las diferentes variables analizadas para las dos campañas:



CUADRO 21. RESULTADOS DE LOS MUESTREOS DE PECES

PARÁMETRO	TIPO OBSERVACION	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF-Hoja	REF-Rinconcito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla	REF-Hoja
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan de Turbe	Petaquilla	Petaquilla
Peso gonadal (gr)	Métrica en títes hembra	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Tamaño hígado	Métricas en todos sexos	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Estructura ósea	Métricas en todos sexos	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Estado salud	Métricas en todos sexos	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

NOTAS: (1) no se recolectaron peces con estados gonadales maduros, o estructuras óseas e hígados difusos. NO. No presentan anomalías.

Las especies centinelas fueron bastante pequeñas y con hígados difusos, por lo que no pudieron determinarse los pesos exactos. Igualmente, la recolección de las estructuras óseas no fue viable para determinar la edad debido a que las temporadas de crecimiento no eran precisas.

En resumen, las observaciones del estado gonadal y de salud de los peces indican una gran diferencia en la madurez de las hembras entre cuencas e incluso entre ríos de la misma cuenca. Al igual que sucedió en monitoreos anteriores, algunos ríos presentaban un buen estado (Hoja, Rinconcito y San Juan de Turbe), pero en otros (Petaquilla, Caimito y Botija) todavía no se encontraba avanzado el proceso o ya se había producido de maduración gonadal, no siendo posible las comparaciones.

Por su parte, en el **Cuadro 22** se resumen los principales atributos ecológicos de las especies inventariadas en alguno de los monitoreos, y que serán posteriormente utilizadas en el índice IBI de calidad basado en la presencia de peces y su hábitat.



CUADRO 22. ATRIBUTOS ECOLÓGICOS DE LAS ESPECIES ICTICAS

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	CATEGORIA DE DIADROMÍA	CATEGORÍA TRÓFICA	ESPECIE EXOTICA	TIPO DE HABITAT	SENSIBLE A ALTERACIÓN
<i>Anguilla rostrata</i> (Lesueur, 1817)	Anguila	Catádromo	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Alta
<i>Brycon petrosus</i> (Meek & Hildebrand, 1913)	Sardina	Potomódroma	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Media
<i>Brycon chagrensis</i> (Kner, 1863)	Sardina	Potomódroma	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
<i>Astyanax aeneus</i> (Günther, 1860)	Sardina	Potomódroma	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
<i>Hyphessobrycon panamensis</i> (Durbin, 1908)	Sardina	Potomódroma	Insectívoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
<i>Bryconamericus emperador</i> (Eigenmann & Ogle, 1907)	Sardina	Potomódroma	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
<i>Roeboides loftini</i> (Lucena, 2011)	Sardina	Potomódroma	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Media
<i>Hoplias microlepis</i> (Günther, 1864)	Peje perro	Potomódroma	Carnívoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
<i>Andinoacara coeruleopunctatus</i> (Kner, 1863)	Chogorro	Potomódroma	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
<i>Sicydium altum</i> (Meek, 1907)	Titi	Anfidromo	Herbívoro	Nativo	Rios/quebradas	Alta
<i>Awaous banana</i> (Valenciennes, 1837)	Arenero	Anfidromo/Catádromo	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Media
<i>Eleotris pisonis</i> (Gmelin, 1788)	Guabina	Catádromo	Carnívoro	Nativo	Rios/quebradas	Media
<i>Gobiomorus dormitor</i> (Lacepède, 1800)	Guabina	Catádromo	Carnívoro	Nativo	Rios/quebradas	Media
<i>Rhamdia laticauda</i> (Kner, 1858)	Barbú	Potomódroma	Insectívoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
<i>Rhamdia quelen</i> (Quoy & Gaimard, 1824)	Barbú	Potomódroma	Insectívoro	Nativo	Rios	Baja
<i>Pomadasys croco</i> (Cuvier, 1830)	Ronco	Anfidromo	Carnívoro	Nativo	Rios	Media
<i>Centropomus undecimalis</i> (Bloch, 1792)	Róbalo	Anfidromo	Carnívoro	Nativo	Rios	Media
<i>Centropomus armatus</i> (Gill, 1863)	Róbalo	Anfidromo	Carnívoro	Nativo	Rios	Media
<i>Agonostomus monticola</i> (Bancroft, 1834)	Lisa de río	Anfidromo	Omnivoro	Nativo	Rios/quebradas	Alta
<i>Joturus pichardi</i> Poey, 1860	Boca chica	Anfidromo	Herbívoro	Nativo	Rios/quebradas	Alta
<i>Mugil cephalus</i> (Linnaeus, 1758)	Lisa	Anfidromo	Carnívoro	Nativo	Rios	Baja
<i>Arcos nudus</i> (Linnaeus, 1758)	Pez sapo	Potomódroma	Herbívoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
<i>Brachyrhaphis cascajalensis</i> (Meek & Hildebrand, 1913)	Chompipe	Potomódroma	Insectívoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja



CUADRO 22. ATRIBUTOS ECOLÓGICOS DE LAS ESPECIES ICTICAS

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	CATEGORIA DE DIADROMÍA	CATEGORÍA TRÓFICA	ESPECIE EXOTICA	TIPO DE HABITAT	SENSIBLE A ALTERACIÓN
<i>Poecilia mexicana</i> (Kner, 1863)	Chompipe	Potomódroma	Insectívoro	Nativo	Suampos/arroyos/quebradas	Baja
<i>Poecilia gillii</i> (Kner, 1863)	Chompipe	Potomódroma	Detritívoro	Nativo	Suampos/arroyos/quebradas	Baja
<i>Poeciliopsis retropinna</i> (Regan, 1908)	Chompipe	Potomódroma	Insectívoro	Nativo	Suampos/arroyos/quebradas	Baja
<i>Priapichthys annectens</i> (Regan, 1907)	Chompipe	Potomódroma	Insectívoro	Nativo	Rios/quebradas	Baja
<i>Trichomycterus striatus</i> (Meek & Hildebrand, 1913)	Barbú	Potomódroma	Insectívoro	Nativo	Arroyos/quebradas	Media
<i>Fonchiiichthys uracanthus</i> (Kner, 1863)	Chupapiedra	Potomódroma	Herbívoro	Nativo	Rios/quebradas	Media
<i>Brachyhypopomus occidentalis</i> (Regan, 1914)	Pez cuchillo	Potomódroma	Insectívoro	Nativo	Arroyos/quebradas	Media
<i>Synbranchus marmoratus</i> (Bloch, 1795)	Anguila	Potomódroma	Detritívoro	Nativo	Rios/quebradas	Media



4.3. Elementos hidromorfológicos y arraigo

4.3.1. Elementos hidromorfológicos

En el **Cuadro 23** se resumen las principales variables del hábitat fluvial de los ríos estudiados.

CUADRO 23. RESUMEN DE LAS VARIABLES DE HÁBITAT FLUVIAL										
CÓDIGO	RÍOS	ANCHURA MEDIA (m)	PROF. MEDIA (m)	ALTERACIÓN DE LA RIBERA		ESTABILIDAD		SOMBREADO DEL CAUCE (%)		ACCESIBILIDAD AL CAUCE
				MI	MD	MI	MD	MI	MD	
REF-Hoja	Hoja	10,5	0,4	No alterada	No alterada	Buena	Buena	80	70	Accesible margen derecha
REF-Rinconcito	Rinconcito	11	0,4	No alterada	No alterada	Muy buena	Muy buena	60	50	Accesible
PMC-Caimito	Rio Del Medio	21	1-2	No alterada	No alterada	Muy buena	Muy buena	30	20	Accesible
PML-Caimito	Caimito	62	1-3	Poco alterada	No alterada	Buena	Buena	20	20	Poco accesible
PMC-Botija	Botija	9	0,2-0,4	Alterada	Poco alterada	Buena	Buena	30	40	Accesible
PML-Botija	San Juan de Turbe	80-100	1-2	No alterada	No alterada	Buena	Buena	10	15	Accesible margen derecha
PMC-Petaquilla	Petaquilla	20	0,3	No alterada	No alterada	Buena	Buena	75	75	Poco accesible
PML-Petaquilla	Petaquilla	27	0,4	No alterada	Alterada	Buena	Buena	80	30	Accesible margen derecha

NOTA: (1) La elevada turbidez del agua impidió el cálculo del índice IHF-PAN en el río Del Medio. MI: margen izquierda. MD: margen derecha.

La valoración de la diversidad de hábitats y el estado de la vegetación de ribera son esenciales para interpretar adecuadamente los indicadores biológicos, como los macroinvertebrados. Así, cuando de forma natural los ríos presentan una baja diversidad de substratos y, por consiguiente, también de hábitats disponibles para la flora o la fauna acuáticas, las comunidades biológicas pueden estar empobrecidas sin que haya ninguna causa antrópica (Prat et al. 2004). En relación con la calidad del hábitat fluvial, se han evaluado variables relacionadas con el cauce y la ribera. Aspectos como la anchura y profundidad media del punto de muestreo, morfología de la ribera, la calidad de la cubierta vegetal o la del propio cauce han sido registrados como elementos caracterizadores de cada tramo fluvial. Aunque la valoración hidromorfológica de los tramos seleccionados ha sido muy favorable, se señala que en el caso del río Petaquilla lejano no se han observado durante este año 2019 mayores alteraciones puntuales de las riberas en la margen derecha e izquierda debido a extracciones de minería artesanal y en el río Botija con la retirada de la vegetación natural caída en el río.



4.3.2. Arraigo

En el **Cuadro 24** se resumen los porcentajes de los diferentes componentes del sustrato analizado en el estudio granulométrico de cada sitio, considerando el peso bruto en cada fracción.

CUADRO 24. PESO DE LOS DIFERENTES COMPONENTES DEL SUSTRATO									
TAMAÑO DEL TAMIZ	TIPO SUSTRATO (1)	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF-Hoja	REF-Rinconcito	PMC-Caimito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan de Turbe	Petaquilla	Petaquilla
4 mm	Grava-Grava fina	71.2	65.30	75.2	96.3	85.30	98.20	73.10	70.30
2 mm	Grava fina	67.3	50.20	72.4	96.79	78.40	82.30	58.60	64.80
1 mm	Arena gruesa	63.15	38.90	67.1	95.1	68.90	45.50	40.20	45.70
500 µm	Arena gruesa	35.2	20.10	55.43	91.45	60.20	12.10	10.30	12.50
250 µm	Arena fina	20.6	2.10	21.24	21.13	3.10	3.20	3.20	4.90
125 µm	Arena fina	1.55	0.77	2.6	1.2	2.20	0.80	1.30	1.30
63 µm	Arena muy fina-limo	0.25	0.10	0.2	0.15	0.50	0.45	0.43	0.12

(1) Según Sistema International.

Para el estudio del arraigo, en los hábitats de rápidos escogidos para el muestreo de macroinvertebrados bentónicos se insertó un tubo de núcleo a 10 cms. del sustrato, lo que corresponde a la profundidad del muestreo de macroinvertebrados bentónicos. Luego se selló el fondo del núcleo y se sacó el sustrato del río, conservándose en bolsas de plástico refrigeradas hasta su análisis.

En el laboratorio se lavó el sustrato en una serie de tamices, separando el sustrato la arena muy gruesa o grava (4, 2 y 1 mm), arena gruesa (500 µm), arena mediana (250 µm), arena fina (150 µm), arena muy fina (125 µm) y limos (63 µm). Se determinó el peso de cada categoría de tamaño y su porcentaje con respecto al total del peso, variable para cada caso.



Las fracciones de arena son las categorías de interés primordial. Si los estudios de seguimiento en el tiempo demuestran que ha habido un aumento significativo en las fracciones de arena en los mismos lugares, ello indicará que el arraigo ha aumentado. Los cambios de las cantidades de materiales de grano fino también pueden utilizarse como una medida de apoyo para la interpretación de cualquier cambio en la estructura de la comunidad de invertebrados.

En el gráfico adjunto se representan porcentualmente cada fracción del sustrato analizado en función del peso de cada muestra.

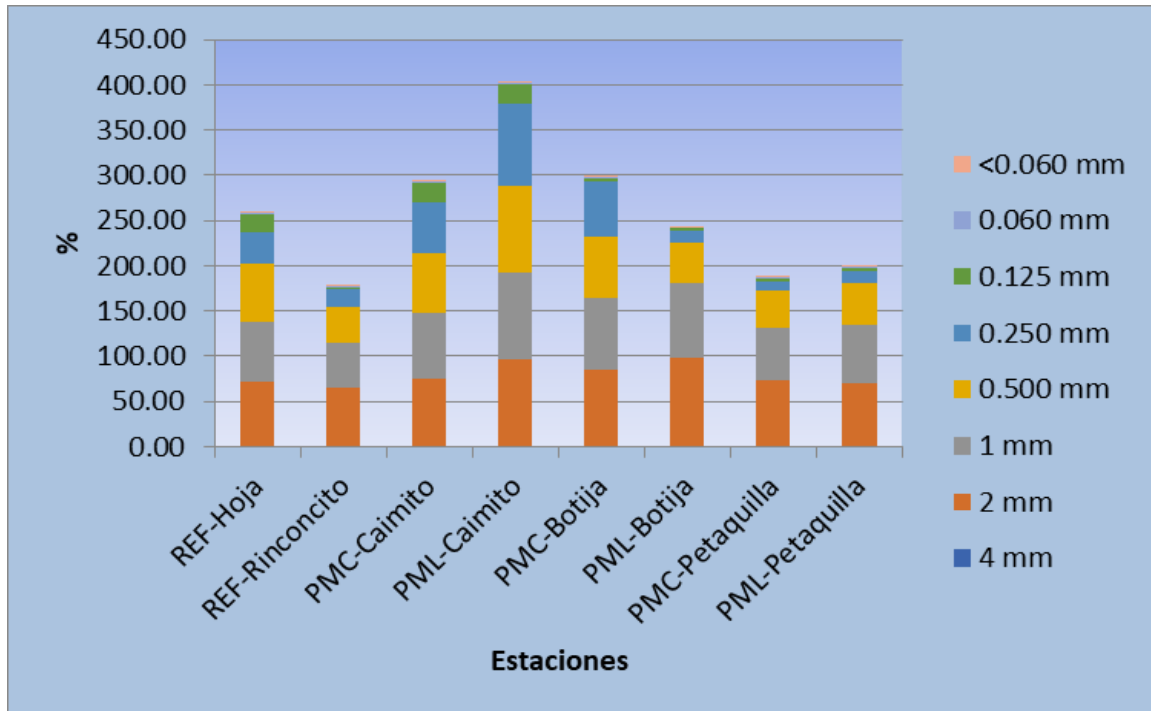


Gráfico 14. Distribución porcentual de las arenas en los diferentes sitios de muestreo por peso muestral.

El porcentaje de arena mediana a muy fina se encuentra inferior al 5% en la mayor parte de los cauces estudiados. Unicamente el río Del Medio y el río Botija cercano presentan porcentajes superiores de arenas medianas a muy finas, aunque dentro de rangos considerados como normales para ríos como los estudiados.

Por consiguiente, se puede afirmar que las condiciones de arraigo en los sitios estudiados no se encuentran afectados por aportes antrópicos, con una composición del sedimento propia de ríos subtropicales de la vertiente caribeña de Panamá.



5. ANÁLISIS DE INDICADORES AMBIENTALES

Se ha procedido en el presente capítulo al análisis de los indicadores ambientales que se vienen empleando de forma rutinaria en el EEA, como una herramienta para el seguimiento de las condiciones de calidad de los ecosistemas de agua dulce superficiales a partir de la integración de diferentes índices de calidad.

Los indicadores empleados se recogen en el **Cuadro 25**.

CUADRO 25. INDICADORES AMBIENTALES SELECCIONADOS PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE				
Subcomponente del Programa	Indicador	Frecuencia de Medición	Frecuencia de informes	Perido de toma de datos
Flora y Fauna	Densidad y riqueza de especies de macro-invertebrados acuáticos.	Anual	Anual	abril- mayo
	Índice de diversidad de Simpson, Bray Curtis e índice de similitud, EPT taxa y abundancia de macro-invertebrados acuáticos.	Anual	Anual	abril- mayo
	Condición física de especies de peces indicadoras	Anual	Anual	abril- mayo
Criterios Físico y Químicos	pH, temperatura, conductividad específica, Oxígeno disuelto, turbiedad, temperatura, metales disueltos, nutrientes en agua y metales en sedimentos.	Anual	Anual	abril- mayo
	Índice mg de elemento / Kg de tejido en peces, donde el elemento de interés es son los metales pesados.	Anual	Anual	abril- mayo



Dado que los resultados obtenidos para cada elemento y variable estudiada están ampliamente desarrollados en los distintos apartados del estudio, con el fin de resumir e interpretar estos resultados de la forma más sencilla posible, se ha utilizado una simbología que indica la tendencia de cada indicador en el tiempo en comparación con las condiciones de referencia y la línea de base del año 2012 y monitoreos de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y presente monitoreo 2019⁶.

La simbología y significado empleado para valorar la tendencia de cada grupo de indicadores ambientales se recoge en el **Cuadro 26**.

CUADRO 26. SÍMBOLOS EMPLEADOS PARA INDICAR LA TENDENCIA DE LOS INDICADORES	
SIMBOLOGÍA	INTERPRETACIÓN DE LA TENDENCIA
↑	El valor del indicador tiende a subir, las condiciones mejoran
→	Se mantiene el valor del indicador, las condiciones no varían
↓	El valor del indicador tiende a bajar, las condiciones empeoran

La comparación en la tendencia de los indicadores para los diferentes años de monitoreo se resume en el **Cuadro 27**.

Se destaca el descenso de la tendencia en los índices de macroinvertebrados en todos los ríos, en el año 2018, debido principalmente a la metodología de muestreo empleada este año con el cilindro tipo Hess en comparación con la red de mano estándar. Con el cilindro se han obtenido menores capturas y, por tanto, valores más bajos de los diferentes índices estructurales de las comunidades de macroinvertebrados presentes.

Igualmente, durante el presente año 2019 se han registrados descensos en las poblaciones de macroinvertebrados y peces en algunos ríos -especialmente el río San Juan de Turbe- asociados con las fuertes lluvias ocurridas en días anteriores a los monitoreos, que han afectado la composición y número de taxones.

En conclusión, las condiciones generales analizadas han sufrido variaciones asociadas más con las técnicas de monitoreo y la propia variabilidad de los parámetros considerados, no apreciándose por el momento una clara tendencia hacia peores condiciones en la salud de los ecosistemas acuáticos (abióticos y bióticos) asociados con las actividades de construcción de la mina.

⁶ La comparación entre los valores brutos obtenidos de cada indicador puede dar lugar a errores debidos a las variaciones en las metodologías empleadas y cambios en las condiciones de los muestreos.



CUADRO 27. EVOLUCIÓN Y TENDENCIA DE LOS INDICADORES AMBIENTALES

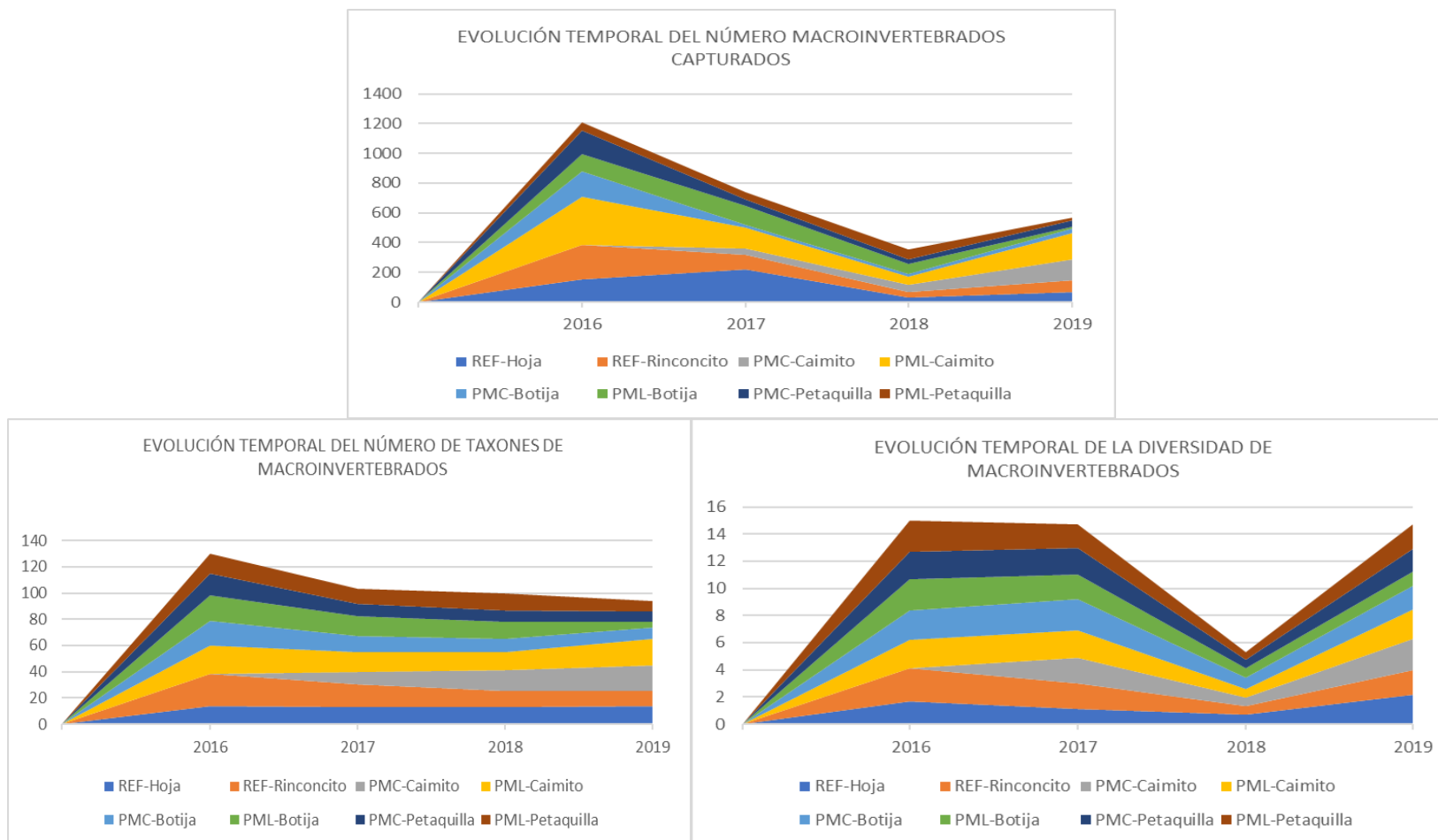
INDICADOR AMBIENTAL	AÑO DE MONITOREO	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF-Hoja	REF-Rinconcito	PMC-Caimito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan de Turbe	Petaquilla	Petaquilla
INDICADOR 1 (Densidad y riqueza de macrobentos)	2012	→	→	→	→	→	→	→	→
	2015	→	→	(3)	(3)	→	→	→	(2)
	2016	→	→	(1)	→	→	→	→	→
	2018	↓	↓	→	↓	↓	↓	↓	↓
	2019	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
INDICADOR 2 (Indices del macrobentos)	2012	→	→	→	→	→	→	→	→
	2015	→	→	(3)	(3)	→	→	→	(2)
	2016	→	→	(1)	→	→	→	↑	↑
	2018	↓	↓	→	↓	↓	↓	↓	↓
	2019	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑
INDICADOR 3 (Condicion física de especies de peces indicadoras)	2012	→	→	→	→	→	→	→	→
	2015	→	→	(3)	(3)	→	→	→	(2)
	2016	→	→	(1)	→	→	→	→	→
	2018	→	→	→	→	→	→	→	→



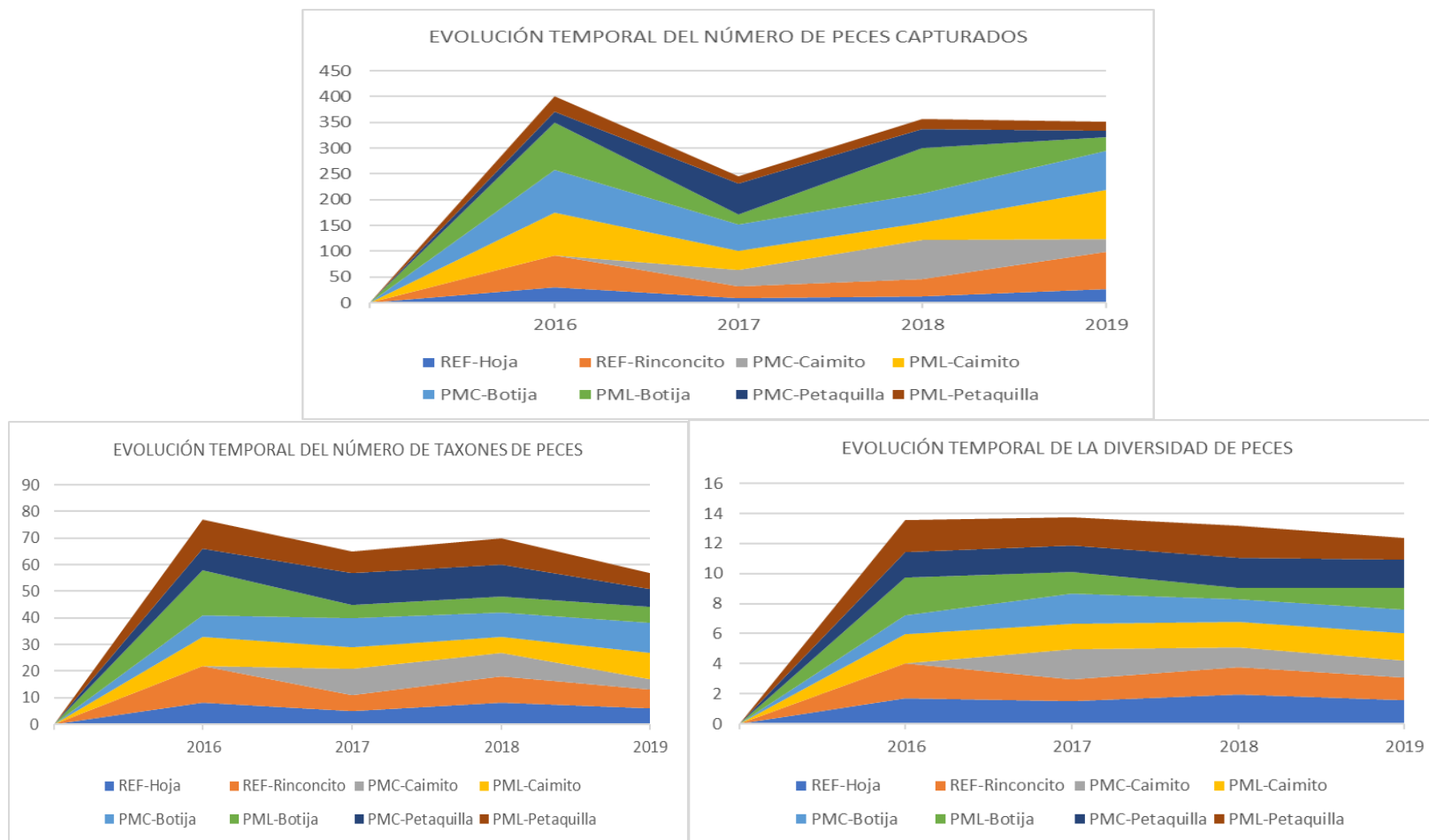
CUADRO 27. EVOLUCIÓN Y TENDENCIA DE LOS INDICADORES AMBIENTALES

INDICADOR AMBIENTAL	AÑO DE MONITOREO	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF-Hoja	REF-Rinconcito	PMC-Caimito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Del Medio	Caimito	Botija	San Juan de Turbe	Petaquilla	Petaquilla
	2019	→	→	→	→	→	↓	→	→
INDICADOR 4 (Condiciones físico-químicas y metales en agua y metales en sedimento)	2012	→	→	→	→	→	→	→	→
	2015	→	→	(3)	(3)	→	→	→	(2)
	2016	→	→	→	→	→	→	→	→
	2018	→	→	→	→	→	→	→	→
	2019	→	→	→	→	→	→	→	→
	2012	→	→	→	→	→	→	→	→
INDICADOR 5 (Índice mg de metales/Kg de tejido en peces)	2015	→	→	(3)	(3)	→	→	→	(2)
	2016	→	→	(1)	→	→	→	→	→
	2018	→	→	→	→	→	→	→	→
	2019	→	→	→	→	→	→	→	→
	2012	→	→	→	→	→	→	→	→

NOTAS: (1). No se obtuvieron muestras en el año 2016 debido al elevado caudal y turbidez del río Del Medio en PMC-Caimito en la época del muestreo. (2) No se dispone de información para el año 2015, debido a que este sitio se empezó a monitorear en el año 2016. (3) No se muestrearon los sitios PMC-Caimito y PML-Caimito en el año 2015.



Representación gráfica de la tendencia temporal (años 2016, 2017, 2018 y 2019) de los indicadores de densidad, riqueza e índice de diversidad en el macrobentos en los diferentes sitios de monitoreo (en el eje de ordenadas se incluyen valores acumulativos).



Representación gráfica de la tendencia temporal (años 2016, 2017, 2018 y 2019) de los indicadores de densidad, riqueza e índice de diversidad de peces en los diferentes sitios de monitoreo (en el eje de ordenadas se incluyen valores acumulativos).



6. ESTADO ECOLÓGICO Y DIAGNÓSTICO

6.1. Justificación

El concepto de estado ecológico difiere sensiblemente del concepto de calidad del agua que se ha venido utilizando tradicionalmente, ya que mientras la calidad del agua expresa la mayor o menor potencialidad o aptitud del agua para dedicarla a un uso determinado (bebida, baño, riego, etc.), el estado ecológico es una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales.

Para evaluar el estado ecológico de un agua se emplean tres tipos de elementos (físico-químicos, biológicos e hidromorfológicos), que en su conjunto describen cómo se comporta el ecosistema acuático frente a posibles impactos y si se han producido cambios en su estructura o funcionamiento como consecuencia de los mismos. A su vez, cada uno de estos elementos viene representado por uno o varios índices de calidad.

A diferencia de los análisis basados en cambios estructurales de las comunidades biológicas (densidad de individuos, número de taxones, índices de diversidad, etc), para evaluar posibles alteraciones en la calidad del agua, los índices de calidad se basan en el empleo de organismos o características del medio en el que habitan (“especies indicadoras”) y, especialmente, en su sensibilidad a determinados efectos ambientales visibles macroscópicamente o microscópicamente. Proporcionan una información semi-cuantitativa sobre la contaminación de los ecosistemas acuático y permiten evaluar directamente y seguir en el tiempo (tendencias) el impacto ambiental de las actividades humanas.

6.2. Índices de calidad del agua. Metodología y resultados

6.2.1. Macroinvertebrados

Para evaluar la calidad biológica del agua a partir del grupo de macroinvertebrados, se ha empleado el índice BMWP/PAN desarrollado para Panamá por el Instituto Commemorativo Gorgas de Estudios de la Salud (ICGES). En el **Cuadro 28** se muestran las clases de calidad para los valores que puede tomar el índice BMWP/PAN de macroinvertebrados.

CUADRO 28. CLASES DE CALIDAD SEGÚN EL ÍNDICE BMWP/PAN		
VALOR INDICE	NIVEL DE CALIDAD	ESTADO O CLASE DE CALIDAD
>101	Aguas no contaminadas/alteradas de modo sensible	MUY BUENA (BUENA)
61-100	Aguas ligeramente contaminadas	BUENA (ACEPTABLE)
36-60	Aguas moderadamente contaminadas	MODERADA (DUDOSA)
16-35	Aguas muy contaminadas	DEFICIENTE-MALA (CRÍTICA)
<15	Aguas fuertemente contaminadas	MALA-CRÍTICA (MUY CRÍTICA)



Sobre la base de aplicar el índice BMWP/PAN a los datos de macroinvertebrados, en el **Cuadro 29** se incluyen los resultados obtenidos y el estado de calidad para el presente monitoreo.

CUADRO 29. NIVEL DE CALIDAD SEGÚN EL ÍNDICE BMWP/PAN				
CÓDIGO SITIO DE MUESTREO	RIO	VALOR DEL ÍNDICE IBMW-PAN	SIGNIFICADO O NIVEL DE CALIDAD	ESTADO DE CALIDAD
REF-Hoja	Hoja	80	Aguas ligeramente contaminadas	BUENA
REF-Rinconcito	Rinconcito	63	Aguas ligeramente contaminadas	BUENA
PMC-Caimito	Del Medio	120	Aguas no contaminadas	MUY BUENA
PML-Caimito	Caimito	99	Aguas ligeramente contaminadas	BUENA
PMC-Botija	Botija	41	Aguas moderadamente contaminadas	MODERADA
PML-Botija	San Juan de Turbe	17	Aguas muy contaminadas	DEFICIENTE
PMC-Petaquilla	Petaquilla	38	Aguas moderadamente contaminadas	MODERADA
PML-Petaquilla	Petaquilla	47	Aguas moderadamente contaminadas	MODERADA

Como se puede comprobar, en el presente año 2019 los sitios en Botija y Petaquilla han sufrido un descenso en la calidad del agua, motivado por la escasa presencia de macroinvertebrados registrados y asociado con las lluvias. El resto de sitios presenta calidad BUENA a MUY BUENA.

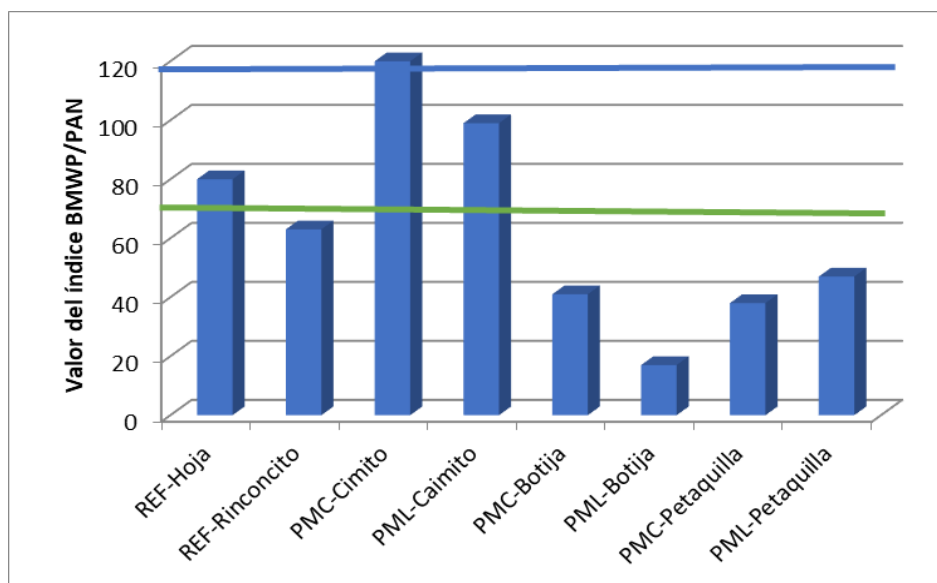


Gráfico 15. Comparativa del índice BMWP/PAN entre sitios de muestreo.
Se indica el límite de clase BUENO (61) y MUY BUENO (101).



6.2.2. Diatomeas bentónicas (perifiton)

Teniendo en cuenta la composición y abundancia de valvas de las diatomeas bentónicas, se ha procedido al cálculo del índice IPS (Specific Polluosensitivity Index, CEMAGREF, 1982⁷), de amplia aceptación científica mundial para determinar la calidad del agua a partir de la composición del perifiton. Para su cálculo, se ha empleado el programa OMNIDIA 6.0⁸.

En el **Cuadro 30** se muestran las clases de calidad para los valores que puede tomar el índice IPS para valorar el estado de la calidad del agua a partir del perifiton.

CUADRO 30. CLASES DE CALIDAD SEGÚN EL ÍNDICE IPS		
VALOR INDICE	NIVEL DE CALIDAD	ESTADO O CLASE DE CALIDAD
>17	Aguas muy limpias	MUY BUENA
13-17	Aguas con buena calidad	BUENA
9-13	Aguas moderadamente contaminadas	MODERADA
5-9	Aguas muy contaminadas	DEFICIENTE
<5	Aguas fuertemente contaminadas	MAL

Sobre la base de aplicar el índice IPS a los datos de perifiton, en el **Cuadro 31** se incluyen los resultados obtenidos y las clases de calidad.

CUADRO 31. NIVEL DE CALIDAD SEGÚN EL ÍNDICE IPS DE PERIFITON				
CÓDIGO SITIO DE MUESTREO	RIO	VALOR DEL ÍNDICE IPS	SIGNIFICADO O NIVEL DE CALIDAD	ESTADO DE CALIDAD
REF-Hoja	Hoja	15,2	Aguas con buena calidad	BUENA
REF-Rinconcito	Rinconcito	15,3	Aguas con buena calidad	BUENA
PMC-Caimito	Del Medio	16,0	Aguas con buena calidad	BUENA
PML-Caimito	Caimito	15,4	Aguas con buena calidad	BUENA
PMC-Botija	Botija	14,1	Aguas con buena calidad	BUENA
PML-Botija	San Juan de Turbe	10,3	Aguas moderadamente contaminadas	MODERADA
PMC-Petaquilla	Petaquilla	14,2	Aguas con buena calidad	BUENA
PML-Petaquilla	Petaquilla	15,1	Aguas con buena calidad	BUENA

⁷ CEMAGREF. 1982. *Étude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux*. Rapport Q.E. Lyon-A.F. Bassin Rhône-Méditerranée- Corse. 218 pp.

⁸ <http://omnidia.fr/en/order-omnidia/>



Como se puede comprobar, todos los ríos presentan un estado de calidad en cuanto a la presencia de especies indicadoras de estado BUENO, con escasas diferencias entre ellos y con calidades de aguas muy limpias. También en este caso, el río San Juan de Turbe se ha visto afectado, aunque en menor medida para este indicador, por las lluvias.

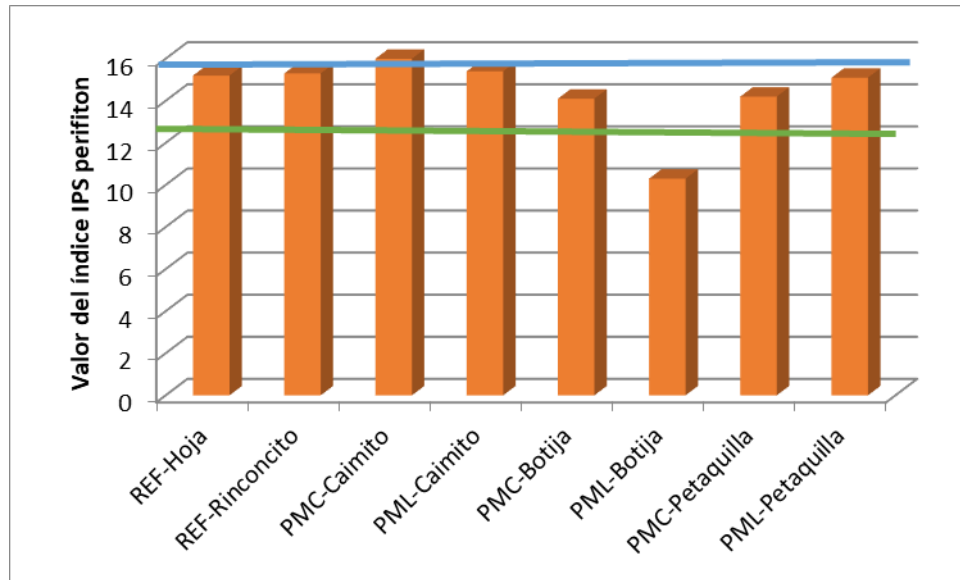


Gráfico 16. Comparativa del índice IPS entre sitios de muestreo.
Se indica el límite de clase BUENO (13) y MUY BUENO (17).

6.2.3. Peces

Para evaluar la calidad del ecosistema fluvial a través de los peces, se ha empleado el índice IBI de amplia aceptación científica en todo el mundo (Karr, 1991). El índice se ha diseñado y adaptado a partir de atributos básicos de las comunidades de peces presentes en ríos del Caribe panameño: riqueza y composición de especies, estructura trófica y condición y abundancia de los peces. Para ello, se han considerado, en primer lugar, el número de especies presentes, número de individuos (como CPUE en ind/min) y su diversidad (índice Shannon-Weaver). En segundo lugar, los atributos ecológicos de cada especie, así como su estado de salud (proporción de especies con anomalías).

Para cada uno de los criterios, el investigador asigna un valor a la muestra: un signo menos (1), un cero (3), o un signo más (5). Este enfoque propuesto por Karr (1981), permite la flexibilidad para acomodar la variación evolutiva y las historias ecológicas de los peces entre las cuencas. El valor final del índice IBI, se obtiene por suma de cada uno de los resultados de los criterios.

En el **Cuadro 32** se resume el estado de calidad a partir de los valores que puede alcanzar el índice IBI teniendo en cuenta los parámetros analizados.



CUADRO 32. ESTADOS DE CALIDAD PARA EL ÍNDICE IBI DE PECES

VALOR IBI	SIGNIFICADO	ESTADO Y COLOR REPRESENTATIVO
>40	Comparables a las mejores condiciones naturales, sin influencia del hombre; todas las especies nativas esperadas para el hábitat o tamaño del cuerpo de agua presentes, incluyendo las formas intolerantes; estructura trófica balanceada.	MUY BUENA
30-40	Riqueza de especies un tanto por debajo de lo esperado, debido especialmente a la pérdida de las formas intolerantes; algunas especies con distribución de la abundancia o de tamaño inferior al óptimo; la estructura trófica muestra algunos signos de estrés.	BUENA
20-30	Signos de deterioro adicional, incluye pocas especies intolerantes; estructura trófica más alterada (p. ej., aumento en la frecuencia de omnívoros); las mayores clases de edad de carnívoros pueden ser raras.	MODERADA
10-20	Dominada por omnívoros, especies tolerantes a la contaminación y de hábitat generalistas, pocos carnívoros; tasas de crecimiento y factores de condición disminuidos; presencia de formas híbridas y peces con enfermedades.	DEFICIENTE
<10	Pocos peces presentes, la mayoría introducidos o formas muy tolerantes; los híbridos son comunes; parásitos y enfermedad frecuentes, los daños en las aletas y otras anomalías (tumores) son comunes. Menores valores toman los sitios con ausencia de peces.	MALA

Teniendo en cuenta la metodología de cálculo del índice IBI, los resultados obtenidos para este índice en el conjunto de sitios de muestreo se muestran en el **Cuadro 33**.

CUADRO 33. RESULTADOS DE LA VALORACIÓN DEL ESTADO DE CALIDAD
A PARTIR DEL ÍNDICE IBI DE PECES. Año 2019

PARÁMETROS	CRITERIOS	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF-Hoja	REF-Rinconcito	PMC-Caimito	PML-Caimito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Caimito	Caimito	Botija	San Juan de Turbe	Petaquilla	Petaquilla
Número de especies	1 baja; 3 media; 5 alta	1	3	3	3	5	1	3	3
Número de especies sensitivas (intolerantes)	1 baja; 3 media; 5 alta	5	5	5	5	5	3	3	1
Número de especies bénticas	1 baja; 3 media; 5 alta	3	3	3	3	3	1	3	3
Número de especies exóticas	1 alta; 3 media; 5 baja	5	5	5	5	5	5	5	5
Índice de diversidad (Shannon-	1 baja; 3 media; 5 alta	3	3	5	5	1	1	3	3



**CUADRO 33. RESULTADOS DE LA VALORACIÓN DEL ESTADO DE CALIDAD
A PARTIR DEL INDICE IBI DE PECES. Año 2019**

PARÁMETROS	CRITERIOS	CODIGO SITIOS DE MUESTREO Y RIOS ESTUDIADOS							
		REF- Hoja	REF- Rinconcito	PMC- Caimito	PML- Caimito	PMC- Botija	PML-Botija	PMC- Petaquilla	PML- Petaquilla
		Hoja	Rinconcito	Caimito	Caimito	Botija	San Juan de Turbe	Petaquilla	Petaquilla
Wieber)	5 alta								
Proporción de omnívoros	<20% 5 alta; 20-40% 3 media; >40 1 baja	5	5	5	5	5	5	3	3
Proporción de detritívoros	<20% 5 alta; 20-40% 3 media; >40 1 baja	3	3	3	3	3	3	3	3
Proporción de carnívoros tope	<1% 1 baja; 20-40% 3 media; >5 5 alta	3	3	3	3	3	3	3	3
Número de individuos	1 baja; 3 media; 5 alta	1	3	3	3	5	1	1	1
Proporción de peces con anomalías	1 alta; 3 media; 5 baja	5	5	5	5	5	5	5	5
VALOR IBI		34	38	37	37	37	28	32	27
ESTADO CALIDAD		BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	MODERADO	BUENA	MODERADA

Como se puede comprobar, todos los sitios presentan calidades BUENAS y MODERADA para el San Juan de Turbe y Petaquilla en el tramo bajo, con una menor diversidad y densidad de peces.

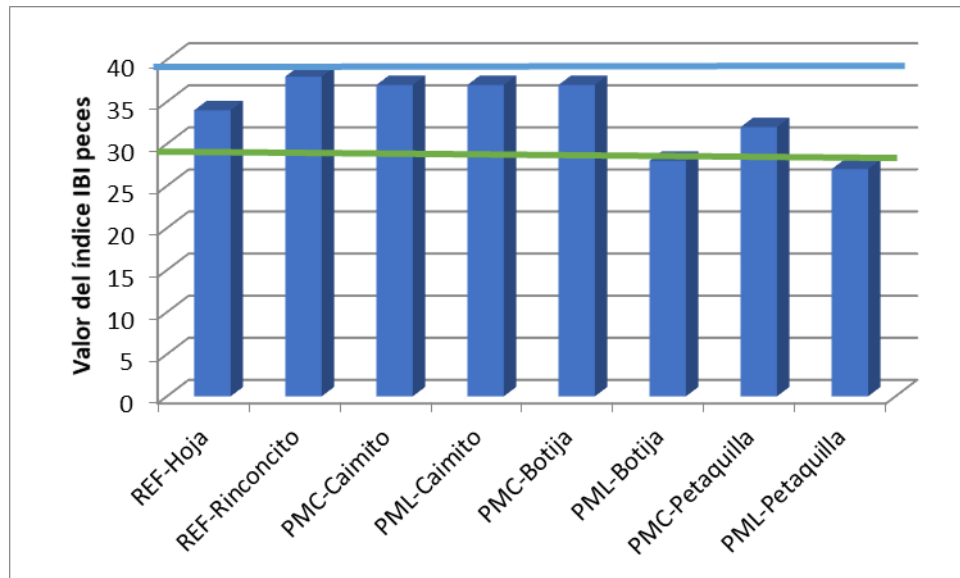


Gráfico 17. Comparativa del índice IBI entre sitios de muestreo.
Se indica el límite de clase BUENO (30) y MUY BUENO (40).

6.2.4. Elementos hidromorfológicos

Se han empleado dos índices adaptados a las condiciones limnológicas de Panamá para evaluar la calidad hidromorfológica de los cauces: índice QBR-PAN de calidad de ribera e IHF-PAN de hábitat fluvial.

Para el cálculo del índice QBR-PAN se determina, en primer lugar, el tipo morfológico del cauce, a través del tipo de desnivel de la zona de ribera, la presencia de islas en el lecho y la capacidad de soportar vegetación de ribera. Una vez establecido el tipo morfológico, se da puntuación a cada uno de las siguientes variables:

- Grado de cobertura de la zona de ribera.
- Estructura de la cobertura.
- Calidad de la cobertura.
- Grado de naturalidad del canal fluvial.

Cada uno de estos cuatro bloques puede adquirir una puntuación desde 0 a 25 puntos. El valor del QBR-PAN se obtendrá por suma de estos cuatro bloques, de modo que dicho valor estará comprendido entre 0 y 100 puntos. Los valores obtenidos que se han comparado con los valores de referencia establecidos para las aguas de Panamá, como se muestra en el **Cuadro 34**.



CUADRO 34. ESTADOS DE CALIDAD PARA EL ÍNDICE QBR-PAN

VALOR QBR-PAN	ESTADO O CLASE DE CALIDAD	ESTADO Y COLOR REPRESENTATIVO
≥ 95	Bosque de ribera sin alteraciones y natural, calidad muy buena	MUY BUENA
75 – 90	Bosque ligeramente perturbado, calidad buena	BUENA
55 – 70	Inicio de alteración importante, calidad intermedia	MODERADA
30 – 50	Alteración fuerte, calidad deficiente	DEFICIENTE
≤ 25	Degradación extrema, calidad mala	MALA

El índice IHF-PAN se basa en siete bloques que ofrecen una matriz de puntuación con la que se determina la calidad del hábitat. Cada uno de los siete bloques cuantifica atributos diferentes del espacio a analizar:

- Inclusión de rápidos - sedimentación pozas.
- Frecuencia de rápidos.
- Composición del sustrato.
- Regímenes de velocidad/profundidad.
- Porcentaje de sombra en el cauce.
- Cobertura y diversidad de vegetación acuática.
- Elementos heterogeneidad.

Los valores obtenidos que se han comparado con los valores de referencia establecidos para las aguas de Panamá. En el **Cuadro 35**, se recoge la valoración del índice IHF-PAN.

CUADRO 35. ESTADOS DE CALIDAD PARA EL ÍNDICE IHF-PAN

VALOR IHF-PAN	ESTADO O CLASE DE CALIDAD	ESTADO Y COLOR REPRESENTATIVO
≥ 72	Hábitat fluvial muy diverso. Calidad muy buena	MUY BUENA
50 – 71	Hábitat fluvial diverso. Calidad buena	BUENA
40 – 49	Hábitat fluvial escasamente diverso. Calidad moderada	MODERADA
30 – 39	Pérdida significativa de heterogeneidad. Calidad deficiente	DEFICIENTE
≤ 30	Hábitat muy homogéneo. Calidad mala	MALA



En el **Cuadro 36** se recogen los resultados de los mencionados índices y estado global.

CUADRO 36. ESTADOS DE CALIDAD PARA EL ÍNDICE IHF-PAN				
CÓDIGO	RÍOS	IHF	QBR	ESTADO DE CALIDAD GLOBAL (1)
REF-Hoja	Hoja	>100	>100	MUY BUENA
REF-Rinconcito	Rinconcito	85	86	BUENA
PMC-Caimito	Del Medio	100	>100	MUY BUENA
PML-Caimito	Caimito	77	>100	MUY BUENA
PMC-Botija	Botija	84	>100	MUY BUENA
PML-Botija	San Juan de Turbe	85	>100	MUY BUENA
PMC-Petaquilla	Petaquilla	80	>100	MUY BUENA
PML-Petaquilla	Petaquilla	83	>100	MUY BUENA

NOTA. El estado de calidad global se ha obtenido con el peor estado de calidad de cada índice.

El índice IHF-PAN resulta un indicador muy fiable, por cuanto sintetiza los datos de diferentes elementos que estructuran el hábitat fluvial. Aunque esté basado en estimas visuales, los parámetros a estimar son cualitativos o semicuantitativos, con lo que los resultados son más objetivables.

En este caso no se trata de índice tan estático como el QBR-PAN, sino que viene directamente influenciado por el caudal. Éste condiciona elementos como la variabilidad de macrohábitats presentes, regímenes de velocidad-profundidad, frecuencia de rápidos, variedad y proporción de granulometrías, o la presencia de determinados elementos que confieren heterogeneidad al cauce (hojarasca, palos, etc).

Los resultados obtenidos de la aplicación de los dos índices indican que el estado de calidad hidromorfológico se encuentran entre MUY BUENO a BUENO (Rinconcito).

Estos resultados son totalmente lógicos, ya que no ha habido alteraciones significativas en las condiciones hidromorfológicas y en el hábitat de los cauces estudiados que hayan podido alterar los valores de las variables empleadas. Solo se han observado pequeñas alteraciones (corte de vegetación, árboles caídos, etc), que no son suficientes para alterar los valores de los índices.



6.3. Valoración y diagnóstico del estado ecológico

Una vez calculados los estados de calidad a partir de los índices de cada elemento o indicador, para valorar y diagnosticar el estado ecológico final de los ríos estudiados –con todos los elementos en conjunto–, se ha seguido el esquema de toma de decisiones basado en la metodología original propuesta por la Comisión Europea en el documento guía sobre clasificación del estado ecológico (European Commission, 2003).

De acuerdo con esta metodología, las aguas superficiales se clasifican en cinco clases en función de los resultados obtenidos en cada uno de los indicadores hidromorfológicos, biológicos y físico-químicos: muy bueno, bueno, moderado-aceptable, deficiente y malo.

Para la clasificación del estado ecológico se parte, en principio, de los indicadores biológicos, apoyándose después tanto en las condiciones físico-químicas del agua y sedimentos, como en las hidromorfológicas del cauce (ver esquema **Figura 5**).

Para las condiciones físico-químicas del agua y sedimentos, se ha empleado como criterio el grado de cumplimiento de las normas de calidad que se han considerado⁹. Es decir, si se cumple el valor de referencia para el contaminante específico, la calidad es BUENA y garantizan la función del ecosistema, en caso contrario la calidad es MALA y no garantiza la funcionalidad del ecosistema.

En este esquema, cuando los indicadores biológicos ofrecen un estado por debajo de bueno, la clasificación del estado ecológico final vendría dada por estos mismos indicadores biológicos. En estos casos, se completó el estado ecológico (EE) final con datos de macroinvertebrados al ser los más representativos de un río.

Sin embargo, cuando el estado ecológico se estima (mediante indicadores biológicos) como bueno o muy bueno, las condiciones físico-químicas e hidromorfológicas entran en juego, pudiendo bajar la clasificación del estado ecológico a los niveles inferiores de bueno o moderado.

⁹ Agua: Norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo para la categoría “sin contacto directo”. Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008. Sedimentos: Protocolo del Consejo Canadiense del Ministerio del Ambiente (CCME) y Ley holandesa de suelos contaminados: “Soil Clean-Up Act.1983”.

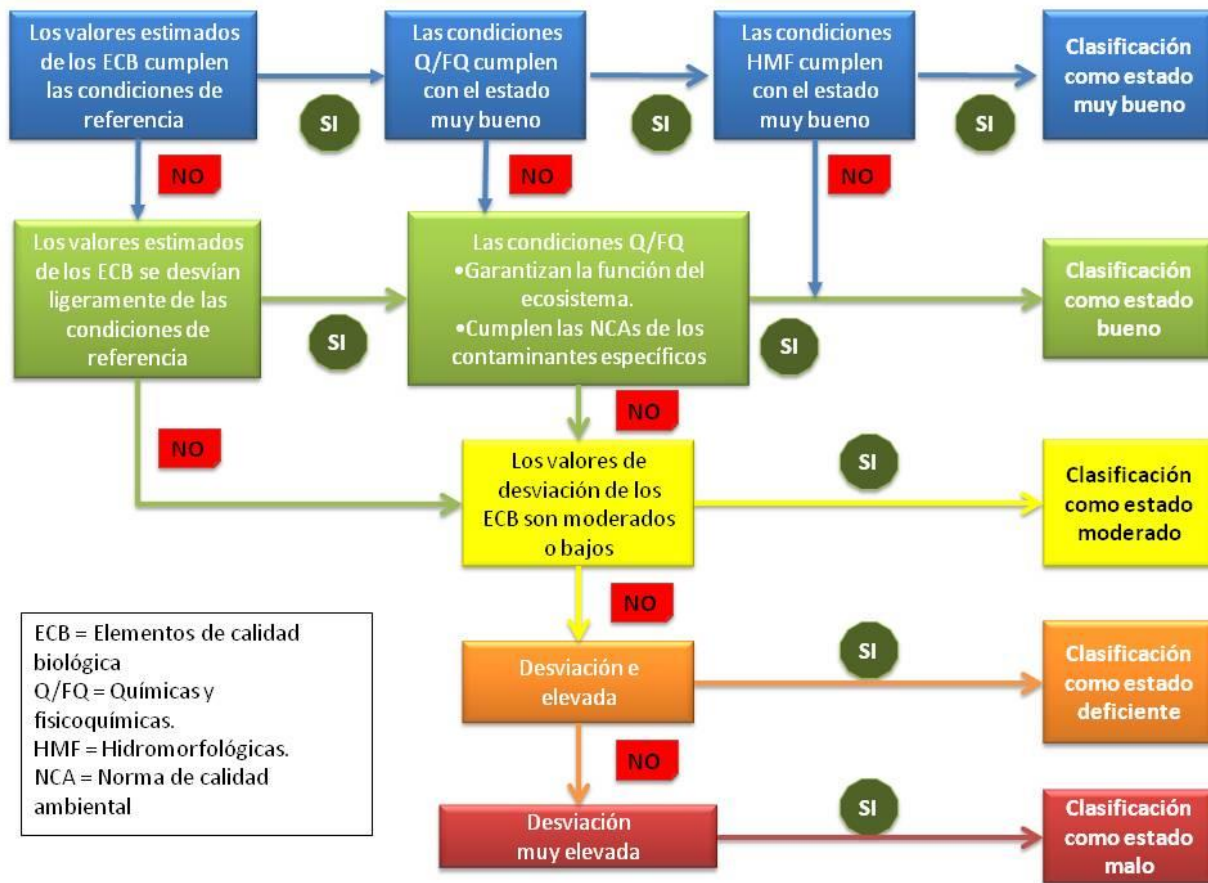


Figura 5. Metodología propuesta por el Grupo de Trabajo 2A de la Unión Europea en el Documento Guía número 13 sobre la clasificación del estado ecológico (European Comission, 2003).



De forma individual para elemento de calidad, se ha seguido en la valoración el modelo más restrictivo. Es decir, se escoge de cada elemento como indicador o índice, de entre todos, aquel cuyo resultado ha sido la estima menos favorable en cada ocasión, según el principio “*uno fuera, todos fuera*”: Se ha denominado a este estado ecológico “restrictivo” como EE_{rest} , de tal manera que:

$$EE_{rest} = \text{Mínimo } (EE_{biol})$$

En resumen, para la clasificación del estado ecológico se han utilizado los siguientes elementos de calidad (QEs) y sus correspondientes índices de calidad:

- QEs FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA Y SEDIMENTOS
 - Calidad FQ. Físico-química del agua: temperatura, oxígeno disuelto, pH y turbidez.
 - Calidad QA: Química del agua: sólidos en suspensión y metales pesados
 - Calidad QS. Química del sedimento: metales pesados.
- QEs BIOLÓGICOS
 - Calidad BM. Composición y abundancia del macrobentos. Índice BMWP/PAN
 - Calidad BD. Composición y clases de calidad índice IPS de diatomeas bentónicas
 - Calidad BP. Composición y clases de calidad del índice IBI de peces
- QEs HIDROMORFOLÓGICOS
 - Calidad H. Composición y abundancia de la vegetación de ribera. Índice QBR-PAN y evaluación del hábitat fluvial mediante el Índice IHF-PAN.

En el **Cuadro 37** se sintetizan los resultados de la valoración de los indicadores empleados y del estado ecológico final establecido para los diferentes ríos.

Han quedado clasificados finalmente como BUENO los ríos Hoja y Rinconcito (sitios de referencia) y el río Caimito lejano. Con estado ecológico MODERADO los ríos Botija, San Juan de Turbe y los dos sitios de monitoreo en el río Petaquilla, aunque los resultados - especialmente los macroinvertebrados- han estado afectados por las crecidas y lluvias acaecidas los días antes de los muestreos. El río Del Medio (PMC-Caimito) presenta muy buena calidad, con un estado ecológico de MUY BUENO.



CUADRO 37. VALORACIÓN FINAL DEL ESTADO ECOLÓGICO DE LOS RÍOS. AÑO 2019

CODIGO SITIO MUESTREO	RÍO	CALIDAD FQ	CALIDAD QA	CALIDAD QS	CALIDAD BM	CALIDAD BD	CALIDAD BP	CALIDAD H	ESTADO ECOLÓGICO
REF-Hoja	Hoja	BUENA	BUENA	MODERADA	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENA	BUENO
REF-Rinconcito	Rinconcito	BUENA	BUENA	MODERADA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENO
PMC-Caimito	Del Medio	BUENA	BUENA	MODERADA	MUY BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENA	MUY BUENO
PML-Caimito	Caimito	BUENA	BUENA	MODERADA	BUENA	BUENA	BUENA	MUY BUENA	BUENO
PMC-Botija	Botija	BUENA	BUENA	MALA	MODERADA	BUENA	BUENA	MUY BUENA	MODERADO
PML-Botija	San Juan de Turbe	BUENA	BUENA	MODERADA	DEFICIENTE	MODERADA	MODERADA	MUY BUENA	MODERADO
PMC-Petaquilla	Petaquilla	BUENA	BUENA	MALA	MODERADA	BUENA	BUENA	MUY BUENA	MODERADO
PML-Petaquilla	Petaquilla	BUENA	BUENA	MALA	MODERADA	BUENA	MODERADA	MUY BUENA	MODERADO

NOTAS: Calidad FQ. Físico-química del agua: temperatura, oxígeno disuelto, pH y turbidez. Calidad QA: Química del agua: sólidos en suspensión y metales pesados. Calidad QS. Química del sedimento: metales pesados. Calidad BM. Composición y abundancia del macrobentos. Índice BMWP/PAN. Calidad BD. Composición y clases de calidad índice IPS de las diatomeas bentónicas. Calidad BP. Composición y clases de calidad del índice IBI de peces. Calidad H. Composición y abundancia de la vegetación de ribera. Índice QBR-PAN y evaluación del hábitat fluvial mediante el Índice IHF-PAN.



7. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Los principales resultados y conclusiones obtenidas en el monitoreo de los ecosistemas de agua dulce en MINERA PANAMA del año 2019 se resumen en los siguientes puntos:

- El objetivo principal de la presente consultoría es continuar con el Plan de Monitoreo de Ecosistemas de Agua Dulce iniciado en el año 2012, mediante un Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés) dirigido a asegurar que los controles ambientales para los afluentes, sedimentos y agua y otras medidas de mitigación sean efectivos para la protección de la viabilidad de los ecosistemas acuáticos de agua dulce alrededor de las operaciones de la mina.
- De esta forma, se ha continuado con la aplicación de los índices e indicadores ambientales establecidos en el Plan de Monitoreo Ambiental de MINERA PANAMÁ, con el fin de conocer cómo evolucionan en el tiempo desde el año 2012 (considerada la línea base) y su grado de afectación por las actividades de la mina.
- Como objetivo complementario, este año 2019 se ha continuado con la valoración del “estado ecológico” de cada uno de los sitios de muestreo –iniciado en el año 2016-, teniendo en cuenta los siguientes elementos de calidad e indicadores o índices:
 - Elementos de físico-químicos: parámetros de calidad de agua y metales pesados en agua, sedimentos y biota.
 - Elementos de calidad biológicos: macroinvertebrados (índice IBMW/PAN), perifiton (índice IPS) y peces (índice IBI).
 - Elementos hidromorfológicos: vegetación de ribera (índice QBR-PAN), hábitat fluvial (índice IHF-PAN) y arraigo (índice de arraigo IA).
- Una vez calculados los indicadores de calidad físico-químicos, hidromorfológicos y biológicos, para valorar y diagnosticar el estado ecológico se ha seguido el esquema de toma de decisiones basado en la metodología adoptada en el “Proyecto de Saneamiento de los ríos y quebradas de la Ciudad de Panamá y Del Medio marino de la Bahía de Panamá” del Ministerio de Salud y según los criterios de la Directiva Marco del Agua en Europa (DMA, 200/60/CE).
- Desde el punto de vista metodológico, se han seguido protocolos estándares para el muestreo y análisis de los elementos ambientales considerados y similares a los empleados en monitoreos de años anteriores.
- Para los valores de referencia o guía de los parámetros de calidad de aguas (físico-químicos) se ha empleado la siguiente normativa vigente en Panamá, así como normativa específica de referencia para niveles de metales pesados en sedimentos.
 - Norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo para la categoría “sin contacto directo”. Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.



- Protocolo del Consejo Canadiense del Ministerio del Ambiente (CCME) y Ley holandesa de suelos contaminados: "Soil Clean-Up Act.1983".
 - Para el contenido de metales en peces y camarones, se han empleado diferentes valores de referencia recogidos en normativas internacionales y que ha sido elaborado por expertos de MINERA PANAMÁ.
 - El diseño original de los emplazamientos de cada punto realizado en el año 2012 dependió del establecimiento de sitios de muestreo cercanos al proyecto (Punto de Muestreo Cercano, PMC), sitios de muestreo río abajo (Punto de Muestreo Lejano, PML) y sitios de muestreo de referencia (REF) que son áreas no influenciadas por el proyecto.
- Para el monitoreo del año 2019 se emplearon los mismos sitios de muestreo que en años anteriores, incluyendo un punto adicional en el río Petaquilla en punto lejano (PML Petaquilla) iniciado en el año 2016. Estos sitios de muestreos se ubicaron dentro de los cauces receptores de las principales subcuencas afectadas por el proyecto e incluyen:
 - Subcuenca del río Caimito: incluye el río Del Medio o Uvero (PMC-Caimito) como sitio de muestreo cercano y el propio río Caimito (PML-Caimito) como sitio de muestreo lejano, que reciben las aguas de descarga de relaves.
 - Subcuenca del río Botija: incluye el propio río Botija (PMC-Botija) como sitio de muestreo cercano, que recibe las descargas, y más alejado el río San Juan de Turbe (PML-Botija) como sitio de muestreo lejano.
 - Subcuenca del río Petaquilla: con el río Petaquilla en un punto cercano que recibe descargas de los tajos Colina y Valle Grande y minería ilegal (PMC-Petaquilla) y un punto adicional a los empleados en anteriores monitoreos situado más alejado aguas abajo (PML-Petaquilla).
 - Subcuencas de referencia: en las que se han seleccionado los ríos Hoja (REF-Hoja) y Rinconcito (REF-Rinconcito) no afectados por las actividades del proyecto.
 - Los monitoreos se han dividido en dos campañas: la primera, en los ríos Caimito (dos sitios de monitoreo) y Hoja (un sitio de monitoreo) durante los días 21 y 22 de febrero; la segunda en el resto de sitios en los días 1 al 4 de mayo y al final de la estación seca.
 - Durante este período, las condiciones atmosféricas fueron muy similares, con cielos nublados o muy nublados (80-100% nubes), y con presencia de lluvia y aguaceros y una temperatura ambiente en el rango de 28-31°C.
 - Los flujos estimados de agua para los ríos Rinconcito, Petaquilla, Botija y Del Medio fueron medios-bajos y propios de una época que se corresponde con el final de la estación seca, con caudales del orden de 1,0-2,0 m³/s. Destaca el moderado caudal de los ríos Caimito y San Juan de Turbe, con valores estimados de 30 y 50 m³/s respectivamente. En el caso del río San Juan de Turbe, se tuvo que esperar para poder



realizar el monitoreo más de un día a que el caudal descendiera después de un fuerte aguacero.

- Las medidas de parámetros físico-químicos del agua efectuadas con sonda multiparamétrica in situ, indica que las aguas de los ríos estudiados presentan moderada a alta concentración de oxígeno disuelto (81-98% de saturación), moderadas a bajas conductividades (40-254 $\mu\text{S/cm}$) y un pH ligeramente ácido o próximo al neutro (6,1-7,8 unidades pH). Por tanto, son aguas bien oxigenadas, pH ligeramente ácidos a neutros y de baja a moderada carga iónica.
- Durante este año 2019 se ha apreciado en la mayoría de los ríos una menor carga de sólidos en suspensión, con aguas más limpias y ausencia de turbidez en los ríos en donde el año 2016 presentaban elevada turbiedad (por ejemplo, el río Hoja). Incluso en el río Petaquilla, que está asociado con actividades mineras ilegales en su cuenca, principalmente en su tramo más bajo (PML-Petaquilla), presenta bajas conductividades (40 $\mu\text{S/cm}$) y un agua clara (<5 NTU de turbidez). Por su parte, en el río Caimito la turbidez registrada ha estado asociada con condiciones naturales del río tras un período de lluvias y arrastres en su cuenca vertiente propio de la época del año.
- Se destaca que en ningún río se incumplen los límites para temperatura (variaciones superiores a 3° de las condiciones naturales), pH (6,5-8,5 unidades pH), turbiedad (50-100 NTU), sólidos en suspensión (<50 mg/L) y oxígeno disuelto (6-7 mg/L) del Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.
- Las aguas se caracterizan por su baja dureza y contenido en nutrientes, con escaso contenido en carbono orgánico disuelto (COD). Los sólidos en suspensión han sido bajos en todos los sitios, cumpliéndose con el límite de 50 mg/L que establece el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.
- No se han encontrado diferencias significativas con otros monitoreos, solo aquellas relacionadas por aumentos puntuales de los sólidos y nutrientes debidos a arrastres naturales en episodios de fuertes lluvias, en los que las concentraciones de estos parámetros pueden superar los valores límites que se han tomado como referencia.
- Se destaca que todos los metales incluidos en el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008 en agua (arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo) cumplen con los límites de calidad. Para el cobre, y por su interés en este monitoreo, se han obtenido concentraciones por encima del valor de referencia de 0,01 mg/L en todos los sitios y, en particular, en los sitios de muestreo REF-Hoja, PMC-Caimito y PMC-Botija, que reciben las aguas de lavado de la mina. No se ha valorado, ya que se trata de un valor de referencia no legal.
- Para metales pesados en sedimentos y teniendo en cuenta la norma canadiense de referencia, el cinc solo incumpliría para límites bajos en el río Petaquilla. Para el cobre se incumpliría para límites bajos (LEB) en todos los puntos, excepto en PMC-Botija, PMC-Petaquilla y PML-Petaquilla que también se incumpliría en límites efectos altos



- (LEA). Para todos los sitios de muestreo, el resto de metales en sedimentos cumple con el límite de efectos bajos (LEB).
- Por comparación con los valores de referencia señalados en la bibliografía en peces, cabe destacar que el arsénico, cadmio, cinc y selenio (excepto en PMC-Caimito) se encuentran por encima del rango bajo de los valores de referencia en peces, no alcanzando el rango alto de los mismos. Por su parte, el resto de metales presentan concentraciones por debajo del valor bajo de referencia en peces. Al no existir valores de referencia legales en Panamá, no se puede establecer el grado de cumplimiento legal para metales pesados en peces.
 - Al igual que ha sucedido en años anteriores, los valores en camarones fueron notablemente mayores que las que se encontraron en los tejidos de los peces para ciertos metales. Se observa una gran variabilidad en los resultados, sin un claro modelo de comportamiento entre estaciones. Panamá no cuenta con límites legales para este indicador, no se puede establecer un nivel de calidad objetivo para este parámetro. De todas formas, en el capítulo de estudio de tendencias se analiza la evolución de estos parámetros (tanto metales pesados en peces como en camarones) en los diferentes monitoreos realizados en el tiempo.
 - En total se han encontrado 20 taxones de macroinvertebrados en el monitoreo de febrero, que pertenecen a otras tantas familias, destacando por su representatividad y abundancia los taxones *Emilidae*, *Leptophlebiidae*, *Palaemonidae* (especialmente en la estación PML-Caimito) y *Thiaridae*. El grupo de los *Chironomidae* está bien representado, aunque con densidades moderadas a bajas. La estación con densidades más bajas de macroinvertebrados han sido la del río Caimito lejano, aunque los otros ríos presentan valores igualmente altos.
 - En total se han encontrado 18 taxones de macroinvertebrados en el monitoreo de mayo, que pertenecen a otras tantas familias, destacando por su representatividad y abundancia los taxones *Emilda* y *Philopotamidae*. El grupo de los *Chironomidae* está bien también representado en este monitoreo, aunque con densidades moderadas a bajas. Se destaca la baja densidad de organismos en el río San Juan de Turbe comparado con otros años, debido al fuerte arrastre que sufrieron las comunidades biológicas como consecuencia de las fuertes lluvias de días anteriores.
 - Para las diatomeas bentónicas y perifiton, las muestras del monitoreo de febrero en Caimito y río Hoja, presentan la mayor riqueza con 14 y 12 especies, respectivamente. La especie con mayor distribución fue la *Cyanophyta Lyngbya spp.* (Oscillatoriaceae) representada en todas las estaciones analizadas. Otras dos especies pertenecientes a la misma división *Homoeothrix spp.* (Homoeotrichaceae) y *Gloecapsa sp. 1* (Microleaceae), presentan una distribución interesante al ser encontradas en todos los sitios muestreados. *Fragilaria crotonensis* (Bacillariophyta, Fragilariaceae) se presenta también una amplia distribución en los ríos.
 - Las muestras de perifiton en mayo de Petaquilla y Rinconcito, presentan la mayor riqueza con 13 especies, respectivamente. La especie con mayor distribución fue



Fragillaria crotonensis, una diatomea representada en todas las estaciones analizadas. Otras dos especies pertenecientes a la misma división *Homoeothrix spp* (Homoeotrichaceae) y *Gloecapsa sp. 1* (Microleaceae), presentan una distribución interesante al ser encontradas en gran parte de los sitios muestreados.

- Como es natural, no parece haber una relación clara entre el contenido en Clorofila “a” y la densidad del fitobentos, debido al diferente contenido de este pigmento en las células analizadas y variable en función de cada especie. Se han registrado valores propios de aguas con media productividad algal.
- Se han registrado un número variable de taxones de peces, con un máximo de 11 en el río Botija en San Benito y un mínimo de 4 en el río del Medio. Las densidades también han sido muy variables, con máximos en el río Caimito y un mínimo en el Petaquilla. En consonancia, las diversidades han variado de 1,13 bits en el río Del Medio a 1,86 bits en Petaquilla.
- Las especies con mayor número de individuos fueron *Sicydium altum*, seguido de *Brachyrhaphis cascajalensi*, *Agonostomus monticola*, *Andinoacara coeruleopunctatus*, *Bryconamericus emperador* y *Hyphessobrycon panamensis* y *Gobiomorus dormitor* (solo registrado en el monitoreo de febrero).
- Las capturas por unidad de esfuerzo (CPUE), fueron menores en PMC-Petaquilla y PML Petaquilla. Sin embargo, las mayores capturas se registraron para REF-Rinconcito, PMC-Botija y PML Caimito. Es importante señalar, que estos datos han sido similares en los últimos tres años de muestreo. En particular, Ref Hoja que durante los últimos muestreos ha presentado los CPUE más bajos, a pesar de las diferentes técnicas de muestreo que se utilizan y las condiciones ambientales variables, que ha presentado al momento de la colecta. Esto nos puede indicar, que la abundancia de peces en este afluente es baja y puede deberse a varios factores, uno de ellos, el grado de intervención antrópica en las riberas del río.
- Las especies registradas durante el monitoreo forman parte de la fauna característica de los ríos y quebradas de la zona, donde factores tales como la altitud, tipología del río y la temperatura del agua condicionan su presencia. En general, siguen el patrón normal de distribución de las especies en los ríos subtropicales, es decir, a medida que se sube por el río se espera encontrar una baja diversidad de estas.
- Aunque la valoración hidromorfológica y del hábitat fluvial de los tramos seleccionados ha sido muy favorable, se señala que en el caso del río Petaquilla lejano no se han observado durante este año 2019 mayores alteraciones puntuales de las riberas en la margen derecha e izquierda debido a extracciones de minería artesanal y en el río Botija por corta de la vegetación natural.
- El porcentaje de arena mediana a muy fina se encuentra inferior al 5% en la mayor parte de los cauces estudiados. Por consiguiente, se puede afirmar que las condiciones de arraigo en los sitios estudiados no se encuentran afectados por aportes antrópicos, con



una composición del sedimento propia de ríos subtropicales de la vertiente caribeña de Panamá.

- Una vez calculados los indicadores de estado de calidad para cada uno de los elementos físico-químicos (aguas, sedimentos y biota), biológicos e hidromorfológicos, para valorar y diagnosticar el estado ecológico final de los ríos estudiados –con todos los elementos en conjunto-, se ha seguido el esquema de toma de decisiones basado en la metodología propuesta por la Comisión Europea en el documento guía sobre clasificación del estado ecológico (European Commission, 2003).
- El estado ecológico se define como una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales. Se establecen cinco clases de estado ecológico, en función del grado de alteración de la masa de agua respecto a sus condiciones de referencia: MUY BUENO, BUENO, MODERADO, DEFICIENTE Y MALO.
- Han quedado clasificados finalmente como BUENO los ríos Hoja y Rinconcito (sitios de referencia) y el río Caimito lejano. Con estado ecológico MODERADO los ríos Botija, San Juan de Turbe y los dos sitios de monitoreo en el río Petaquilla, aunque los resultados -especialmente los macroinvertebrados- han estado afectados por las crecidas y lluvias acaecidas los días antes de los muestreos. El río Del Medio (PMC-Caimito) presenta muy buena calidad, con un estado ecológico de MUY BUENO.
- Además de la valoración del estado ecológico, como una herramienta para el seguimiento de las condiciones de calidad de los ecosistemas de agua dulce superficiales a partir de la integración de diferentes índices de calidad, se ha procedido en el presente capítulo al análisis de los indicadores ambientales que se vienen empleando de forma rutinaria en el EEA.
- Con el fin de resumir e interpretar estos resultados de la forma más sencilla posible, se ha utilizado una simbología que indica la tendencia de cada indicador en el tiempo en comparación con las condiciones de referencia y la línea de base del año 2012.
- La tendencia de los cinco indicadores comparados entre la línea base del año 2012, años 2015, 2016, 2017, 2018 y el presente monitoreo 2019 indican variaciones poco significativas entre los mismos.
- En este sentido, se destaca que las condiciones generales analizadas han variado muy poco con respecto al año 2012 -con excepción de variaciones atribuibles a causas ajenas al posible impacto de la mina-, no apreciándose por el momento una tendencia hacia peores condiciones en la salud de los ecosistemas acuáticos (abióticos y bióticos) asociados con las actividades de la mina.



ANEXO 1

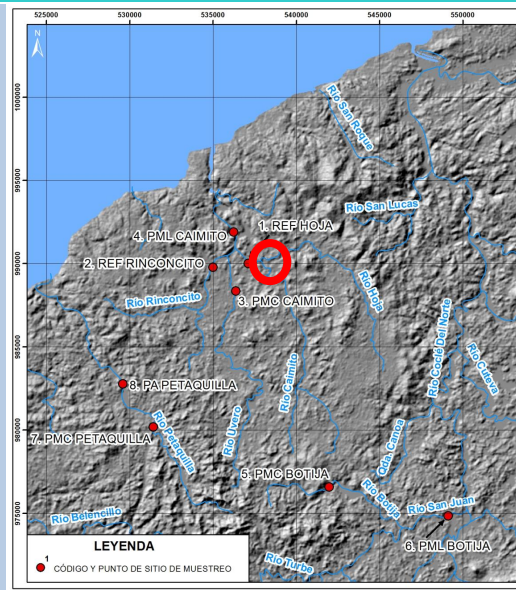
FICHAS DE LOS SITIOS DE MUESTREO

CÓDIGO SITIO DE MUESTREO: REF-HOJA

(0989875N, 0536108E)

SOMBREADO DEL CAUCE: 80% (I) y 70% (D)

LOCALIZACIÓN Y FOTOGRAFÍAS DEL SITIO DE MUESTREO



OBSERVACIONES: Accesible por potrera desde la margen izquierda. Acceso en helicóptero.



CÓDIGO SITIO DE MUESTREO: REF-RINCONCITO)

NOMBRE DEL RIO: Rinconcito

LOCALIZACIÓN: Pequeño tributario

TIPO DE SITIO: Referencia

COORDENADAS (DATUM WGS84):

NORTE: 989768

ESTE: 535002

(09900345N, 0534501E)

CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO: Buena accesibilidad. Presencia de vegetación en las orillas y dominancia grava.

ANCHURA (m): 12,0

PROFUNDIDAD MEDIA (m): 0,5

TIPOS DE MESOHÁBITATS: RA, TR, P Y RM.

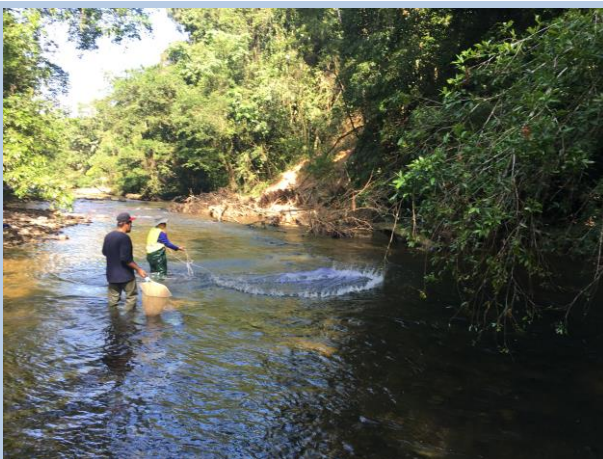
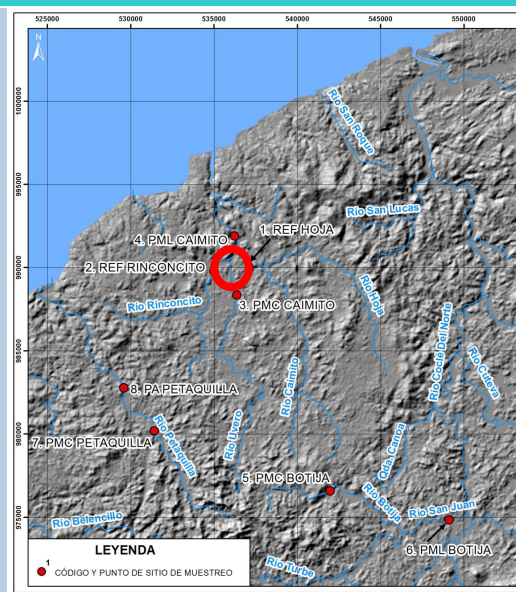
USO DE LAS RIBERAS: Forestal (I y D)

GRADO DE ALTERACIÓN: No alterada

ESTABILIDAD DE LAS ORILLAS: Muy buena

SOMBREADO DEL CAUCE: 60% (I) y 50% (D)

LOCALIZACIÓN Y FOTOGRAFÍAS DEL SITIO DE MUESTREO



OBSERVACIONES: pequeño tributario no alterado con buenas condiciones de referencia. Accesible por trocha.



CÓDIGO SITIO DE MUESTREO: PML-PETAQUILLA

NOMBRE DEL RIO: Petaquilla

LOCALIZACIÓN: Nuevo punto adicional aguas abajo

TIPO DE SITIO: PML

COORDENADAS (DATUM WGS84):

NORTE: 982766

ESTE: 529595

(0981929N, 0529696E)

CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO: Accesible margen derecha. Presencia de graveras en ambas márgenes.

ANCHURA (m): 15-20

PROFUNDIDAD MEDIA (m): 0,3-0,5

TIPOS DE MESOHÁBITATS: RA, TL, RV y R

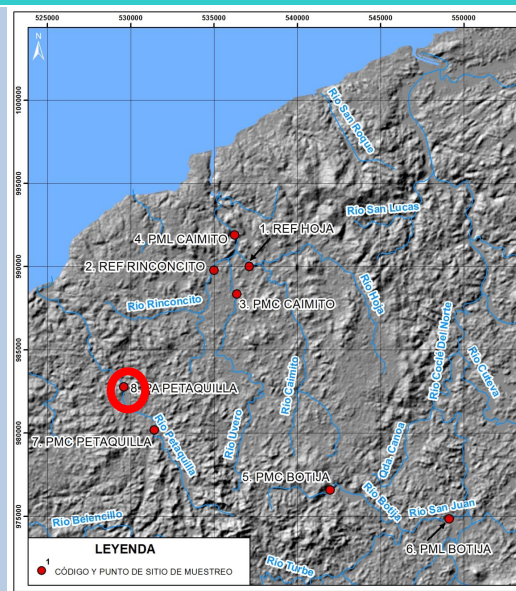
USO DE LAS RIBERAS: Forestal (I) y agropecuario (D)

GRADO DE ALTERACIÓN: No alterada (I) y alterada (D)

ESTABILIDAD DE LAS ORILLAS: Buena

SOMBREADO DEL CAUCE: 80% (I) y <30% (D)

LOCALIZACIÓN Y FOTOGRAFÍAS DEL SITIO DE MUESTREO



OBSERVACIONES: afección por minería ilegal aguas arriba. Accesible por helicóptero.



ANEXO 2

INFORMES DE ENSAYO DE ANÁLISIS EN LABORATORIO (AGUA, SEDIMENTO Y BIOTA)

INFORME DE ENSAYO Nº 01050319

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas. Torre A. Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fgml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: CMLC-220219, CMCC-210219 y REFH-210219	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 23/02/19
TOMADA POR: Licdo. Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 24/02/19	FECHA FIN ANÁLISIS: 5/03/19
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: agua continental de diferentes ríos (Caimito y Hoja) en Minera Panamá	

CÓDIGO	RIO	DUREZA (mg/l CaCO ₃)	ALCAL. (mg/l CaCO ₃)	SS (mg/L)	NH ₄ (mg/L N)	NO ₃ (mg/L NO ₃)	N.Kjeld. (mg/L N)	PO ₄ (mg/L PO ₄)	P _{total} (mg/L)	COD (mg/L)
REF-Hoja REFH-210219	Hoja	30	25	<2.5	<0,01	0,8	0,22	0,10	0,18	6,3
PMC-Caimito CMCC-210219	Del Medio	31	22	<2.5	<0,01	1,2	0,31	0,15	0,20	6,1
PML-Caimito CML-220219	Caimito	32	24	9,6	<0,01	1,5	0,30	0,20	0,23	6,9

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente.

Fecha Informe de Ensayo: 10 de marzo de 2019



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

INFORME DE ENSAYO Nº 01270619

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas. Torre A. Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fgml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: VARIOS	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 04/05/19
TOMADA POR: Licdo. Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 05/05/19	FECHA FIN ANÁLISIS: 20/05/19
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: agua continental de diferentes ríos en Minera Panamá	

CÓDIGO MUESTRA	DUREZA (mg/l CaCO ₃)	ALCAL. (mg/l CaCO ₃)	SS* (mg/L)	NH ₄ (mg/L N)	NO ₃ * (mg/L NO ₃)	N.Kjeld. (mg/L N)	PO ₄ * (mg/L PO ₄)	P _{total} (mg/L)	COD (mg/L)
REF-Rinconcito	18	21	<5	0.10	1,6	0,65	0,15	0,20	6,5
PMC-Botija	30	22	8,7	0,11	4,1	0,26	0,60	0,72	6,9
PML-Botija	32	24	<5	0,30	1,6	0,21	0,18	0,23	4,7
PMC-Petaquilla	20	15	<5	0,10	1,1	0,04	0,05	0,10	2,5
PML-Petaquilla	21	17	<5	0,11	0,9	0,08	0,06	0,11	2,8

Fecha Informe de Ensayo: 27 de junio de 2019



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

INFORME DE ENSAYO Nº 01240419

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas. Torre A. Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fgml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: CMLC-220219, CMCC-210219 y REFH-210219	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 23/02/19
TOMADA POR: Licdo. Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 27/02/19	FECHA FIN ANÁLISIS: 24/04/19
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: agua continental de diferentes ríos (Caimito y Hoja) en Minera Panamá	

PARÁMETRO (METAL DISUELTO)	UNIDAD	REF-Hoja	PMC-Caimito	PML-Caimito
		REFH-210219	CMCC-210219	CML-220219
Aluminio	ug/L	260.0	270.0	149.0
Antimonio	ug/L	0.65	0.82	0.36
Arsénico	ug/L	0.01	0.01	0.01
Bario	ug/L	40.1	35.7	29.6
Berilio	ug/L	0.01	0.01	0.01
Boro	ug/L	<100	<100	<100
Cadmio	ug/L	<0.01	<0.01	<0.01
Cinc	ug/L	5.2	6.8	10.5
Cobalto	ug/L	0.70	0.60	0.35
Cobre	ug/L	10.2	20.3	15.6
Cromo	ug/L	<0.01	6.2	5.4
Hierro	ug/L	760.0	560.3	470.1
Manganeso	ug/L	49.2	82.1	60.3
Molibdeno	ug/L	<1	<1	<1
Níquel	ug/L	<1	<1	<1
Plata	ug/L	0.09	0.05	0.12
Plomo	ug/L	0.03	0.06	0.12
Selenio	ug/L	0.22	0.35	0.40
Vanadio	ug/L	3.1	1.2	1.6
Mercurio	ug/L	< 0.3	< 0.3	< 0.3

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente.

Fecha Informe de Ensayo: 24 de abril de 2019



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados con * están acreditados o en fase de acreditación por el CNA conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá. Este Informe consta de 1 página.

INFORME DE ENSAYO Nº 02270619

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas. Torre A. Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fgml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: VARIOS	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 4/05/19
TOMADA POR: Licdo. Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 9/05/19	FECHA FIN ANÁLISIS: 20/06/19
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: matriz agua de diferentes ríos en Minera Panamá.	

METAL PESADO DISUELTO EN AGUA	UNIDADES	REF- Rinconcito	PMC- Botija	PML-Botija	PMC- Petaquilla	PML- Petaquilla
		Rinconcito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Aluminio	ug/L	124,4	210,1	170,4	98,5	68,3
Antimonio	ug/L	0.15	0.18	0.35	0.43	0.20
Arsénico	ug/L	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01
Bario	ug/L	20,2	16,8	19,5	16,7	18,3
Berilio	ug/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
Boro	ug/L	<100	<100	<100	<100	<100
Cadmio	ug/L	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03
Cinc	ug/L	9,4	8,5	6,5	7,4	5,8
Cobalto	ug/L	0,89	0,44	0,30	0,25	0,27
Cobre	ug/L	0,50	0,89	3,5	7,6	4,8
Cromo	ug/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Hierro	ug/L	478,8	320,3	340,1	360.8	390.2
Manganeso	ug/L	23,5	69.6	37,3	44,5	32,6
Molibdeno	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1
Níquel	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1
Plata	ug/L	0,09	0,10	0,12	0,03	0,06
Plomo	ug/L	0,04	0,45	0,32	0,10	0,23

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos se han subcontratado al laboratorio DBO5, SL que tiene acreditado todos los parámetros conforme a la Norma ISO/IEC 17025:2017. Este Informe consta de 2 páginas.

METAL PESADO DISUELTO EN AGUA	UNIDADES	REF- Rinconcito	PMC- Botija	PML-Botija	PMC- Petaquilla	PML- Petaquilla
		Rinconcito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Selenio	ug/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Vanadio	ug/L	2,4	3,4	0,6	0,7	0,6
Mercurio	ug/L	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente.

Fecha Informe de Ensayo: 27 de junio de 2019



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

INFORME DE ENSAYO Nº 02240419

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas. Torre A. Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fgml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: CMLC-220219, CMCC-210219 y REFH-210219	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 23/02/19
TOMADA POR: Licdo. Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 27/02/19	FECHA FIN ANÁLISIS: 24/04/19
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: agua continental de diferentes ríos (Caimito y Hoja) en Minera Panamá	

PARAMETRO (METAL TOTAL)	UNIDAD	REFH-210219 Hoja	CMCC-210219 Del Medio	CMLC-220219 Caimito
Aluminio	ug/L	4200	3600	1320
Antimonio	ug/L	20.2	10.6	7.8
Arsénico	ug/L	22.1	15.6	22.6
Bario	ug/L	46.5	80.2	47.9
Berilio	ug/L	0.04	0.04	0.04
Boro	ug/L	<100	<100	<100
Cadmio	ug/L	0.1	0.1	0.1
Cinc	ug/L	49.7	35.8	22.4
Cobalto	ug/L	2.4	2.1	1.6
Cobre	ug/L	44.3	35.7	15.9
Cromo	ug/L	3.2	7.5	4.6
Hierro	ug/L	3100	2400	1800
Manganeso	ug/L	87.5	210.1	70.8
Molibdeno	ug/L	<1	<1	<1
Níquel	ug/L	<1	<1	<1
Plata	ug/L	1.1	1.3	1.4
Plomo	ug/L	2.5	4.7	3.7
Selenio	ug/L	3.8	2.8	1.6
Vanadio	ug/L	7.8	6.9	4.2
Mercurio	ug/L	< 0.3	< 0.3	< 0.3

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente.

Fecha Informe de Ensayo: 24 de abril de 2019



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados con * están acreditados o en fase de acreditación por el CNA conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá. Este Informe consta de 1 página.

INFORME DE ENSAYO Nº 03270619

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas. Torre A. Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fgml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: VARIOS	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 4/05/19
TOMADA POR: Licdo. Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 9/05/19	FECHA FIN ANÁLISIS: 20/06/19
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: matriz agua de diferentes ríos en Minera Panamá.	

METAL PESADO TOTALES EN AGUA	UNIDADES	REF- Rinconcito	PMC- Botija	PML-Botija	PMC- Petaquilla	PML- Petaquilla
		Rinconcito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Aluminio	ug/L	1.650,4	1.240,7	1.370,6	860,0	670,5
Antimonio	ug/L	4,9	2,3	2,6	0,70	0,75
Arsénico	ug/L	7,3	8,3	7,5	1,2	1,4
Bario	ug/L	30,1	67,4	102,5	78,3	80,9
Berilio	ug/L	0.04	0.05	0.03	0.06	0.07
Boro	ug/L	<100	<100	<100	<100	<100
Cadmio	ug/L	0,12	0,22	0,17	0,15	0,19
Cinc	ug/L	32,1	35,4	43,6	44,7	57,6
Cobalto	ug/L	4,5	1,4	0,80	0,21	0,36
Cobre	ug/L	25,7	22,9	15,8	10,6	12,6
Cromo	ug/L	3,1	1,2	1,9	0,9	0,7
Hierro	ug/L	710,3	970,9	1.240,7	890,4	910,2
Manganeso	ug/L	45,8	58,9	40,2	46,7	75,1
Molibdeno	ug/L	<1	7.1	<1	<1	<1
Níquel	ug/L	<1	<1	<1	<1	<1
Plata	ug/L	1,8	1,5	1,4	1,3	1,6
Plomo	ug/L	3,2	1,6	1,8	2,7	2,5

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos se han subcontratado al laboratorio DBO5, SL que tiene acreditado todos los parámetros conforme a la Norma ISO/IEC 17025:2017. Este Informe consta de 2 páginas.

METAL PESADO TOTALES EN AGUA	UNIDADES	REF- Rinconcito	PMC- Botija	PML-Botija	PMC- Petaquilla	PML- Petaquilla
		Rinconcito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Selenio	ug/L	4,7	2,3	2,1	1,6	1,9
Vanadio	ug/L	1,8	3,9	6,9	1,1	1,3
Mercurio	ug/L	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente.

Fecha Informe de Ensayo: 27 de junio de 2019



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

INFORME DE ENSAYO Nº 03240419

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas. Torre A. Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fgml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: CMLC-220219, CMCC-210219 y REFH-210219	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 23/02/19
TOMADA POR: Licdo. Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 27/02/19	FECHA FIN ANÁLISIS: 24/04/19
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: matriz <i>Macrobrachium spp</i> los ríos Caimito y Hoja en Minera Panamá.	

PARAMETRO (metal en camarón)	UNIDADES	REF-Hoja	PMC-Caimito	PML-Caimito
		REFH-210219	CMCC-210219	CMLC-220219
Aluminio	mg/kg	360	345	270
Arsénico	mg/kg	1.30	1.20	1.42
Bario	mg/kg	250	190	360
Berilio	mg/kg	<0.01	<0.01	<0.01
Cadmio	mg/kg	1.2	0.9	1.4
Cinc	mg/kg	150.3	145.8	110.8
Cobalto	mg/kg	1.2	1.4	1.3
Cobre	mg/kg	260.5	250.8	220.4
Cromo	mg/kg	1.2	0.96	0.88
Hierro	mg/kg	550.1	430.5	390.6
Manganeso	mg/kg	210.1	90.4	130.4
Molibdeno	mg/kg	0.6	0.51	0.72
Niquel	mg/kg	1.6	1.1	1.1
Plomo	mg/kg	0.9	0.36	0.10
Selenio	mg/kg	1.9	1.5	1.4
Vanadio	mg/kg	1.1	1.2	1.2
Mercurio	mg/kg	<0.01	<0.01	<0.01

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente. Unidad referida a peso seco.

Fecha Informe de Ensayo: 24 de abril de 2019



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados con * están acreditados o en fase de acreditación por el CNA conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá. Este Informe consta de 1 página.

INFORME DE ENSAYO Nº 06270619

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas. Torre A. Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fgml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: VARIOS	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 4/05/19
TOMADA POR: Licdo. Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 9/05/19	FECHA FIN ANÁLISIS: 20/06/19
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: matriz <i>Macrobrachium spp</i> de diferentes ríos en Minera Panamá.	

METALES PESADOS EN CAMARON	UNIDADES (msm)	REF- Rinconcito	PMC- Botija	PML-Botija	PMC- Petaquilla	PML- Petaquilla
		Rinconcito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Aluminio	mg/kg	150,2	180,1	430,4	450,9	460,7
Arsénico	mg/kg	1,2	1,6	1,4	1,6	1,5
Bario	mg/kg	330,6	250,7	180,9	232,5	240,8
Berilio	mg/kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cadmio	mg/kg	0,80	0,98	0,45	0,66	0,93
Cinc	mg/kg	120,5	56,9	80,1	56,9	80,1
Cobalto	mg/kg	1,67	0,90	0,55	0,62	0,76
Cobre	mg/kg	210,9	230,5	110,4	212,5	230,5
Cromo	mg/kg	1,20	0,49	0,90	0,89	0,12
Hierro	mg/kg	650,9	870,2	428,5	870,9	810,8
Manganeso	mg/kg	140,1	165,4	130,2	310,2	240,7
Molibdeno	mg/kg	0,54	0,89	0,30	0,78	0,90
Níquel	mg/kg	1,1	1,9	1,5	1,6	1,1
Plomo	mg/kg	0,40	0,32	0,25	0,54	0,30
Selenio	mg/kg	2,7	2,8	1,9	2,4	2,1
Vanadio	mg/kg	1,9	3,6	1,1	1,6	1,5

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos se han subcontratado al laboratorio DBO5, SL que tiene acreditado todos los parámetros conforme a la Norma ISO/IEC 17025:2017. Este Informe consta de 2 páginas.

METALES PESADOS EN CAMARON	UNIDADES (msm)	REF- Rinconcito	PMC- Botija	PML-Botija	PMC- Petaquilla	PML- Petaquilla
		Rinconcito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Mercurio	mg/kg	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente.

Fecha Informe de Ensayo: 27 de junio de 2019



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

INFORME DE ENSAYO Nº 04240419

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas. Torre A. Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fgml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: CMLC-220219, CMCC-210219 y REFH-210219	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 23/02/19
TOMADA POR: Licdo. Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 27/02/19	FECHA FIN ANÁLISIS: 24/04/19
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: matriz <i>Gobiomorus dormitor</i> de los ríos Hoja y Caimito en Minera Panamá.	

PARAMETRO (metal en pez)	UNIDAD	Hoja REFH-210219	Del Medio CMCC-210219	Caimito CMLC-220219
Aluminio	mg/kg	60.2	70.1	55.3
Arsénico	mg/kg	0.45	0.49	0.70
Bario	mg/kg	20.1	10.2	3.6
Berilio	mg/kg	<0.01	<0.01	<0.01
Cadmio	mg/kg	0.64	2.3	1.9
Cinc	mg/kg	80.7	40.8	66.8
Cobalto	mg/kg	0.34	0.12	0.10
Cobre	mg/kg	2.3	3.1	2.2
Cromo	mg/kg	0.55	0.30	0.26
Hierro	mg/kg	90.5	60.8	29.4
Manganeso	mg/kg	3.6	2.9	10.1
Molibdeno	mg/kg	0.29	0.10	0.15
Niquel	mg/kg	0.65	0.89	0.19
Plomo	mg/kg	0.01	0.01	0.01
Selenio	mg/kg	0.30	0.24	0.31
Vanadio	mg/kg	0.40	0.10	0.10
Mercurio	mg/kg	<0.01	<0.01	<0.01

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente. Unidad referida a peso seco.

Fecha Informe de Ensayo: 24 de abril de 2019



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados con * están acreditados o en fase de acreditación por el CNA conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá. Este Informe consta de 1 página.

INFORME DE ENSAYO Nº 05270619

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas. Torre A. Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fgml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: VARIOS	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 4/05/19
TOMADA POR: Licdo. Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 9/05/19	FECHA FIN ANÁLISIS: 20/06/19
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: matriz peces de diferentes ríos en Minera Panamá.	

METALES PESADOS EN PEZ	UNIDADES (msm)	REF- Rinconcito	PMC- Botija	PML-Botija	PMC- Petaquilla	PML- Petaquilla
		Rinconcito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Aluminio	mg/kg	55,4	33,1	40,2	80,9	82,6
Arsénico	mg/kg	0,33	0,76	0,34	0,55	0,90
Bario	mg/kg	31,8	40,8	20,7	5,8	10,1
Berilio	mg/kg	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cadmio	mg/kg	1,1	1,3	0,80	0,58	0,66
Cinc	mg/kg	67,1	50,8	66,9	71,9	40,4
Cobalto	mg/kg	0,34	0,24	0,56	0,69	0,30
Cobre	mg/kg	5,9	2,1	4,7	5,9	5,6
Cromo	mg/kg	0,80	0,21	0,67	0,90	1,2
Hierro	mg/kg	45,9	23,6	32,7	30,4	43,8
Manganeso	mg/kg	12,7	10,3	11,7	45,8	44,2
Molibdeno	mg/kg	0,30	0,12	0,15	0,23	0,22
Níquel	mg/kg	0,65	0,48	0,89	0,23	0,40
Plomo	mg/kg	0,21	0,12	0,14	0,10	0,12
Selenio	mg/kg	1,23	1,45	3,40	3,65	3,71
Vanadio	mg/kg	0,34	0,47	0,56	0,78	0,29

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos se han subcontratado al laboratorio DBO5, SL que tiene acreditado todos los parámetros conforme a la Norma ISO/IEC 17025:2017. Este Informe consta de 2 páginas.

METALES PESADOS EN PEZ	UNIDADES (msm)	REF- Rinconcito	PMC- Botija	PML-Botija	PMC- Petaquilla	PML- Petaquilla
		Rinconcito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Mercurio	mg/kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente.

Fecha Informe de Ensayo: 27 de junio de 2019



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

INFORME DE ENSAYO Nº 04270619

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas. Torre A. Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fgml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: VARIOS	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 4/05/19
TOMADA POR: Licdo. Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 9/05/19	FECHA FIN ANÁLISIS: 20/06/19
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: matriz sedimento de diferentes ríos en Minera Panamá.	

METALES PESADOS EN SEDIMENTOS	UNIDADES (msm)	REF-Rinconcito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC-Petaquilla	PML-Petaquilla
		Rinconcito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Aluminio	mg/kg	12,340.1	15.670,2	26,890,4	36,780,8	45.990,5
Antimonio	mg/kg	0,30	0,25	0,26	0,32	0,35
Arsénico	mg/kg	0,40	0,66	0,89	1,23	1,45
Bario	mg/kg	60,7	55,7	80,5	91,3	98,9
Berilio	mg/kg	0,20	0,34	0,56	0,71	0,79
Boro	mg/kg	55,8	33,6	40,7	10,5	11,2
Cadmio	mg/kg	0,15	0,18	0,21	0,33	0,31
Cinc	mg/kg	42,1	80,6	75,7	120,6	128,6
Cobalto	mg/kg	10,5	20,1	16,5	21,6	24,3
Cobre	mg/kg	146,7	220,4	160,8	270,1	278,3
Cromo	mg/kg	6,5	71,2	40,1	30,4	20,2
Hierro	mg/kg	23.450,3	40.450,9	46.569,0	45.370,6	42.890,2
Manganeso	mg/kg	750,3	740,5	1.250,1	1.260,5	1.123,1
Molibdeno	mg/kg	1,6	2,3	2,6	10,1	10,3
Níquel	mg/kg	3,4	6,9	10,9	9,2	10,6
Plata	mg/kg	0,40	0,36	0,48	0,20	0,21
Plomo	mg/kg	3,8	5,7	9,3	10,7	12,8

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos se han subcontratado al laboratorio DBO5, SL que tiene acreditado todos los parámetros conforme a la Norma ISO/IEC 17025:2017. Este Informe consta de 2 páginas.

METALES PESADOS EN SEDIMENTOS	UNIDADES (msm)	REF- Rinconcito	PMC-Botija	PML-Botija	PMC- Petaquilla	PML- Petaquilla
		Rinconcito	Botija	San Juan	Petaquilla	Petaquilla
Selenio	mg/kg	25,9	20,1	22,3	24,8	21,4
Vanadio	mg/kg	176,1	188,2	150,2	143,5	133,8
Mercurio	mg/kg	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente.

Fecha Informe de Ensayo: 27 de junio de 2019



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

INFORME DE ENSAYO Nº 05240419

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas. Torre A. Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fgml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: CMLC-220219, CMCC-210219 y REFH-210219	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 23/02/19
TOMADA POR: Licdo. Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 27/02/19	FECHA FIN ANÁLISIS: 24/04/19
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: matriz sedimento de diferentes ríos en Minera Panamá.	

UNIDAD	PARÁMETRO	REF-Hoja	PMC-Caimito	PML-Caimito
		REFH-210219	PMCC-210219	PMLC-220219
Aluminio	mg/kg	15700	16800	15980
Antimonio	mg/kg	0.22	0.10	0.10
Arsénico	mg/kg	0.55	0.51	0.46
Bario	mg/kg	30.7	23.5	15.8
Berilio	mg/kg	0.10	0.14	0.20
Boro	mg/kg	340.4	160.8	189.3
Cadmio	mg/kg	0.04	0.03	0.03
Cinc	mg/kg	50.1	55.7	40.7
Cobalto	mg/kg	6.8	6.1	7.9
Cobre	mg/kg	55.7	80.4	49.6
Cromo	mg/kg	22.1	44.7	18.9
Hierro	mg/kg	26800	27200	35900
Manganeso	mg/kg	1450	950	480
Molibdeno	mg/kg	1.1	1.1	1.1
Níquel	mg/kg	3.6	1.8	3.9
Plata	mg/kg	0.20	0.42	0.34
Plomo	mg/kg	1.4	1.9	2.2
Selenio	mg/kg	25.9	35.8	20.6
Vanadio	mg/kg	170.1	98.2	290.5
Mercurio	mg/kg	<0.01	<0.01	<0.01

NOTA: los métodos analíticos son los establecidos por el laboratorio según Standard Methods en su última actualización y se encuentran a disposición del cliente. Unidad referida a peso seco.

Fecha Informe de Ensayo: 24 de abril de 2019



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados con * están acreditados o en fase de acreditación por el CNA conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá. Este Informe consta de 1 página.



ANEXO 3

INFORMES DE ENSAYO DE ANALISIS DE PERIFITON

INFORME DE ENSAYO Nº 01050419

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
NOMBRE: MINERA PANAMA	PERSONA CONTACTO: Blanca Arauz
DIRECCIÓN: Torre de Las Américas. Torre A. Piso 21 – Iguana Mall, Penonomé – Donoso, Colón	CORREO CONTACTO: Blanca.Arauz@fgml.com
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y CADENA CUSTODIA	
CÓDIGO MUESTRA: CMLC-220219, CMCC-210219 y REFH-210219	FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 23/02/19
TOMADA POR: Licdo. Carlos Vega	CODIGO FICHA CAMPO Y CC: PFR001
FECHA INICIO ANALISIS: 07/03/19	FECHA FIN ANÁLISIS: 5/04/19
IDENTIFICACIÓN MUESTRA: diatomea bentónica de diferentes ríos (Caimito y Hoja) en Minera Panamá	

Especies	Hoja REFH-210219	Del Medio-Uvero CMCC-210219	Caimito CMLC-220219
Nitzschia spp	1		1
Amphora sp 1	5	2	8
Coscinodiscus spp			2
Eunotia spp	1		2
Fragilaria crotonensis	10	20	5
Synedra goulardii	2		4
Synedra sp 1		2	
Skeletonema spp	5		1
Cyclotella spp	2		1
Meridion spp		2	4
Spirogyra spp		1	
Homoeothrix spp	4		1
Planktothrix cf. <i>compresa</i>		5	1
Planktothrix sp1	4	1	
Gloecapsa sp 1	4	2	10
Lyngbya spp	1	7	4
Oscillatoria spp	1		1

Fecha Informe de Ensayo: 5 de abril de 2019



Dr Pedro Aranzadi
Director Laboratorio

El presente Informe de Ensayo no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo. El informe afecta exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo. Los resultados contenidos en el presente informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. Los resultados sólo conciernen al, o a los, objetos presentados a ensayo. El laboratorio dispone de las incertidumbres de sus medidas a disposición del cliente que las solicite. Se han seguido métodos normalizados según lo indicado en el Decreto Ejecutivo Nº 75 de 4 de junio de 2008, Reglamentos Técnicos DGNTI-COPANIT y última actualización de Standard Methods, que se encuentran a disposición del cliente que los solicite. Los ensayos no marcados con * están acreditados o en fase de acreditación por el CNA conforme a la Norma DGNTI-COPANIT-ISO 17025 de Laboratorios de Ensayo en las instalaciones de PFR ENVIRONMENTAL, SA ubicadas en ANCON, Avda. Morgan Dúplex 301-A, Ciudad de Panamá. Panamá. Este Informe consta de 1 página.



ANEXO 4

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES ESPECIES DE PECES



A continuación, se presenta información ecológica y del ciclo de vida de las especies de peces más significativas y que presentaron la mayor distribución en los sitios de muestreo:

1. ***Sicydiu maltum* (Titi)**: Es una especie restringida a riachuelos y ríos tanto en la vertiente Atlántica como Pacífica, entre el mar y 1.180 m. de altura de América Central, desde Costa Rica a Colombia (Lyons, 2005). Habita en aguas templadas entre 20 y 31 °C (Bussing, 1998) y se lo ha encontrado entre otros cursos de agua, en los ríos Cricamola, Cañaveral, Changuinola, Guarumo y Sixaola (STRI: Base de datos Bocas del Toro). Compartiría parte de su hábitat con otra especie del mismo género (*S. adellum*) en zonas de baja altitud (hasta 90 m). *Sicydiu maltum* ha sido registrado por Bussing (1998) sólo para la Vertiente Atlántica de Costa Rica y según éste mismo autor, la cita de *S. antillarum* hecha por Brockmann (1965), que "...habita toda la Vertiente Atlántica de Panamá y que originalmente fue descrito de Barbados" correspondería a *S. altum* (Bussing, 1998).

Para el cumplimiento de su ciclo reproductivo los adultos deben poder realizar migraciones desde los ríos hacia el océano y viceversa, lo cual implica un uso obligado de los distintos biotopos (cauce del río, estuario y océano). Los adultos procrean en los ríos y las larvas migran hacia el océano de forma pasiva. Desde el océano, se produce una nueva migración a las desembocaduras de los ríos hacia el final de su etapa larval o como juveniles.

Los *Sicydium* en general, en su etapa juvenil migran activamente río arriba, desarrollándose progresivamente en su ascenso, alcanzando alturas superiores a los 90 m.s.n.m., para desarrollarse sexualmente, aparearse y poner los huevos, generalmente en nidos cavados bajo los fondos de grava o roca donde los adhiere y deja al cuidado del macho. Las restricciones biológicas que generan esta obligación son de carácter trófico: las larvas se alimentan únicamente de plancton, el cual abunda en aguas marinas, mientras que los juveniles y adultos ramonean (algas y organismos incrustantes) sobre las rocas del fondo del río, presentando características bentónicas.

Esta especie presentaría el ciclo de vida característica del género, con la presencia de cinco etapas netamente diferenciadas: huevo (río), larva (migra al océano), post-larva (estuarial; cambio de hábito alimenticio), metamorfosis a juvenil (migración aguas arriba) y adulto. Los machos de *Sicydium* defienden el territorio reproductivo, donde las hembras depositan huevos adhesivos y bentónicos, generalmente debajo de una roca o en grietas del fondo rocoso. Para las especies anfídromas como *S. altum* se describen dos tipos de migraciones: la primera ocurre a partir de la eclosión del huevo, donde las larvas deben dirigirse al mar en forma obligada, ya que las hembras adultas no migran (Fièvet et al. 2001). Esta migración es del tipo pasiva donde las larvas nacidas aguas arriba del cauce son arrastradas por la corriente hacia la desembocadura del río o riachuelo (McDowall, 1997).



La segunda migración corresponde a la que realizan postlarvas o juveniles de las especies anfidromas para ingresar al agua dulce y remontar los ríos usualmente en luna llena, período en el cual no se alimentan y cambian su morfología de larvas planctófagos a bentófagos. Esta migración también es obligatoria. Los adultos de las especies del género *Sicydium* habitan principalmente las zonas con aguas de flujo rápido a moderado o pozos dentro de los ríos siempre y cuando el agua sea bien oxigenada y de flujo moderado.

Los aspectos críticos del ciclo de vida que pueden significar una dificultad para que la especie prospere están íntimamente relacionados con el éxito de los procesos migratorios, considerando la migración pasiva de las larvas aguas abajo de carácter meramente trófico, y la migración ascendente de los juveniles aguas arriba del río, para el crecimiento somático y el alcance de la correspondiente madurez sexual y éxito reproductivo.

Sicydium es un género de peces eurípagos. La alimentación varía de acuerdo a las distintas etapas del ciclo de vida. Las larvas recién eclosionadas no se alimentan, y recién lo hacen una vez que alcanzan el ambiente marino. En la etapa marina llevan una vida asociada al dominio pelágico y se alimentan de plancton. Cuando regresan a los estuarios dejan la vida pelágica asentándose sobre el fondo y en este punto se produce un cambio en su hábito alimenticio, pasando a alimentarse de limo, diatomeas y algas filamentosas que raspan del sustrato (Lyons, 2005).

Los aspectos críticos de su alimentación que pueden significar una dificultad para que la especie prospere se refieren principalmente a la abundancia de oferta alimentaria que puedan tener aguas arriba, específicamente para la fase larvaria que es de hábitos planctófagos. Varios factores han sido mencionados como consecuencias negativas del disturbio causado por el represamiento en ríos tropicales que drenan en el Caribe: presencia de peces predadores introducidos, hábitats inapropiados, baja disolución de oxígeno y la pérdida del estímulo del caudal de los tributarios.

Esta especie está íntimamente asociada a los fondos rocosos de los ríos, que le permiten no solo obtener el alimento y reparo, sino también realizar su migración por el lecho pedregoso del río a través del uso de su órgano adhesivo –el cual le permite fijarse al sustrato con corrientes muy rápidas– para desplazarse aguas arriba.

2. **Gobiomorus dormitor (Guabina)**: Fue la tercera especie más abundante ($n= 41$; biomasa total de 2050.9 g), fue colectada en las siete estaciones. Presentó un rango de talla de 3 a 25.5 cm de longitud total ($\bar{x}= 14.25$ cm) y 10.8 a 92.1 g en peso ($\bar{x}= 51.45$ g).

Se encuentra en los ríos y arroyos de baja a moderada velocidad de corriente, desde el nivel del mar y hasta los 60 m de altura en los ríos, a temperaturas de agua de aproximadamente 22-29°C (Bussing, 1998). Bussing (1998) informó que se trata de peces bentónicos carnívoros que utilizan movimientos lentos y la coloración críptica para capturar crustáceos y peces. Kramer y Bryant (1995) informaron de que su dieta consistía de algunos invertebrados acuáticos y terrestres. Una longitud máxima de 320 mm fue reportado por Bussing (1998).



Es una especie catádroma, pasa la mayor parte de su vida en ríos de agua dulce, pero el desove lo realiza en zonas de estuarios o en el océano. Winemiller y Ponwith (1998) informaron de que, en Costa Rica, *G. dormitor* migra a las desembocaduras de los ríos para desovar durante la estación seca de la primavera. Los juveniles migran río arriba sobre todo durante la temporada de lluvias de verano, como parte de una migración masiva con las larvas y juveniles de otros peces y camarones diádromos. (Bacheler et al., 2004) indican que las especies pueden completar su ciclo de vida en agua dulce.

3. **Agonostomus monticola (Lisa):** Fue la segunda especie más abundante ($n= 73$; biomasa total de 723.36 g), fue colectada en las seis de las siete estaciones. Presentó un rango de talla de 3.5 a 18.5 cm de longitud total ($\bar{x}= 11$ cm) y 1.2 a 28.62 g en peso ($\bar{x}= 14.91$ g).

Es la única especie de lisa que vive su vida de adulto enteramente en agua dulce. Se encuentra en ríos y riachuelos desde el nivel del mar hasta los 650 m. de altura en ríos (Bussing, 1998) y hasta 1.500 m. en pequeños tributarios (Cruz, 1987).

Los adultos y subadultos viven en ríos y arroyos de agua dulce la mayor parte de sus vidas moviéndose entre la desembocadura y las nacientes, sin ingresar al mar. El proceso de reproducción se realiza en la desembocadura del río en el mar (Cruz, 1987; Harrison, 2002; Díaz, 2007). Este suceso se desarrolla de forma anual y guarda relación con el período de lluvia mayor, en donde los individuos maduros migran hacia estas zonas bajas a desovar.

Los huevos eclosionan y las larvas son arrastrados al mar donde cumplen una etapa de vida pelágica, donde se alimentan de plancton. Larvas de *A. monticola* han sido colectadas en mar abierto a distancias fuera de costa de hasta cientos de millas (Rohde, 1980). Cuando las larvas se desarrollan, los prejuveniles vuelven a ingresar a la desembocadura de los ríos en condiciones ligeramente salinas a mesohalinas hasta que inician el ascenso aguas arriba.

Estos desplazamientos para desovar cerca del mar y la etapa marina son de carácter trófico ya que las larvas se alimentan de plancton, el cual es muy abundante en aguas marinas. Los juveniles y adultos viven en agua dulce donde predan sobre todo tipo de organismos acuáticos. Es una especie considerada catádroma (aunque también se la cita como anfídroma; McLarney & Mafla, 2007). Es ovípara, que libera huevos pelágicos no adhesivos (Breder & Rosen, 1966). Los huevos son liberados en el medio marino usualmente durante la estación lluviosa (Aiken, 1998).

Las larvas pelágicas se desarrollan durante un tiempo en alta mar, Los pre-juveniles en un primer momento se encuentran en la zona de desembocadura, como sitio de cría y alimentación, donde se han registrado colectas de individuos no mayores a 25 mm.



ANEXO 5.

LISTADO FOTOGRÁFICO DE ESPECIES DE MACROINVERTEBRADOS

Macroinvertebrados en ecosistemas acuáticos en puntos de monitoreo de Minera Panamá

Hidropsychidae REF-Rinconcito, PML-Petaquilla PMC-Botijas	
Elmidae REF-Rinconcito, PML-Petaquilla PMC-Petaquilla PMC-Botijas San Juan PMC-Botijas	



Philopotamidae REF-Rinconcito, PML-Petaquilla PMC-Petaquilla PMC-Botijas San Juan de Turbe PMC-Botijas			
Dytiscidae REF-Rinconcito, PML-Petaquilla			
Psephenidae REF-Rinconcito			

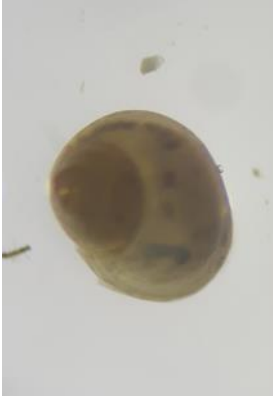
Simuliidae			
REF-Rinconcito			
Baetidae			
REF-Rinconcito			

Perlidae REF-Rinconcito, PML-Petaquilla, PMC-Botijas	
Libellulidae REF-Rinconcito, PML-Petaquilla,	

Thiaridae REF-Rinconcito		
<i>Potimirin glabra</i> REF-Rinconcito PML-Petaquilla		
Macrobrachium acanthurus		



Libellulidae PMC-Petaquilla PML-Petaquilla	
Hydracarina PMC-Petaquilla PMC-Botijas- San Juan de Turbe	
Coenagrionidae PML-Petaquilla PMC-Petaquilla PMC-Botijas San Juan de Turbe PMC-Botijas	

Naucoridae PMC-Petaquilla PMC-Botijas	
Limnephilidae REF-Rinconcito PMC-Petaquilla	
<i>Pomacea zeteki</i> PMC-Petaquilla PML-Petaquilla	

<i>Macrobrachium acanthurus</i> REF-Rinconcito, PMC-Petaquilla, PMC-Botijas-San Juan de Turbe			
Libellulidae Subfamilia: Leucorrhiniinae PMC-Petaquilla			
<i>Brachyraphis cascajalensis</i> PMC-Petaquilla PML-Petaquilla			

Crambidae PML-Petaquilla	
Tipulidae PMC-Botijas	



Macrobrachium carcinus PML-Botijas-San Juan de Turbe	
Atydae PML-Petaquilla	